

THESIS / THÈSE

MASTER EN SCIENCES BIOLOGIQUES DES ORGANISMES ET ÉCOLOGIE

Comparaison de l'utilisation de l'espace entre saumons (*Salmo salar* L.) de différentes classes d'âge en milieux naturel et artificiel

Ontoria, Imelda

Award date:
2004

[Link to publication](#)

General rights

Copyright and moral rights for the publications made accessible in the public portal are retained by the authors and/or other copyright owners and it is a condition of accessing publications that users recognise and abide by the legal requirements associated with these rights.

- Users may download and print one copy of any publication from the public portal for the purpose of private study or research.
- You may not further distribute the material or use it for any profit-making activity or commercial gain
- You may freely distribute the URL identifying the publication in the public portal ?

Take down policy

If you believe that this document breaches copyright please contact us providing details, and we will remove access to the work immediately and investigate your claim.



FACULTÉS UNIVERSITAIRES NOTRE-DAME DE LA PAIX
NAMUR

Faculté des Sciences

**COMPARAISON DE L'UTILISATION DE L'ESPACE ENTRE SAUMONS (*Salmo salar* L.) DE
DIFFÉRENTES CLASSES D'ÂGE EN MILIEUX NATUREL ET ARTIFICIEL**

**Mémoire présenté pour l'obtention du grade de
licencié en Sciences biologiques**

Imelda ONTORIA

Août 2004

Facultés Universitaires Notre-Dame de la Paix
FACULTE DES SCIENCES
Secrétariat du Département de Biologie
Rue de Bruxelles 61 - 5000 NAMUR
Téléphone: + 32(0)81.72.44.18 - Téléfax: + 32(0)81.72.44.20
E-mail: joelle.jonet@fundp.ac.be - <http://www.fundp.ac.be/fundp.html>

Comparaison de l'utilisation de l'espace entre saumons (*Salmo salar* L.) de différentes classes d'âge en milieux naturel et artificiel

ONTORIA Imelda

Résumé

L'utilisation de l'espace en fonction de la vitesse de courant et de la profondeur a été étudiée en milieu naturel et artificiel chez des saumons atlantique (*Salmo salar* L.) de différentes classes d'âge. Nous avons également évalué en milieu artificiel le nombre et les types d'interactions au cours des trois expériences : en cohabitation, les 0+ seuls et les 1+ seuls, dans le but de mettre en évidence les différences d'activité et de dominance entre les deux classes d'âge. Il apparaît que les 1+ sont plus actifs et plus agressifs que les 0+, en particulier dans les périodes de nourrissage par rapport aux périodes de repos. En milieu artificiel, les 1+ choisissent des postes plus profonds avec une vitesse de courant plus faible par rapport au milieu naturel où l'effet d'autres espèces sympatrique n'a toutefois pas pu être mis en évidence. En conséquence, les 0+ en milieu artificiel sont relégués aux postes moins intéressants du point de vue énergétique par les 1+.

La compétition est apparue en milieu artificiel au désavantage des 0+, ce qui semble confirmer les différences de résultats de survie des 0+ rempoissonnés dans le cadre du projet « Meuse Saumon 2000 » en fonction des proportions de 1+, sur les sites contrôlés après la saison de croissance.

Facultés Universitaires Notre-Dame de la Paix
FACULTE DES SCIENCES
Secrétariat du Département de Biologie
Rue de Bruxelles 61 - 5000 NAMUR
Téléphone: + 32(0)81.72.44.18 - Téléfax: + 32(0)81.72.44.20
E-mail: joelle.jonet@fundp.ac.be - <http://www.fundp.ac.be/fundp.html>

Comparaison of the use of space between saumons (*Salmo salar* L.) of different age groups in both natural and artificial environments

ONTORIA Imelda

Summary

The usage of the space in fonction of the speed of the current and of the depth was studied in natural and artificial environments with the atlantic saumon of differentes age groups. We have equally evaluated in an artificial environment the number and the types of interactions in the course of three experiences: en cohabitation, only the 0+ and 1+, in the end of putting in evidence the different activities and the dominance between the two age groups. It appears that the 1+ are more actives and more agressives than the 0+, in particular in the periods of feeding in comparaison with periods of relaxation. In artificial environment space, the 1+ choose the positions deeper with the speed of the current much weaker in comparaison with naturel environments where the effect of other sympatrics species can't be put in evidence everytime. Quensequently the 0+ in artificial environment are regulated to positions less interesting from the energety point of view than the 1+. The competition has appeared in artificial environment to the disavantage of the 0+, which seems to confirm the differents of results of the survival of the 0+ in the framework of the project « Meuse Saumon 2000 » in fonction of the proportions of the 1+, on the control sites after the season of growth.

REMERCIEMENTS

Au terme de cette année qui finit avec ce mémoire, je me dois de remercier toutes les personnes sans lesquelles je ne serais peut-être pas là aujourd'hui.

Je manifeste également toute ma reconnaissance à mon promoteur, Monsieur Jean-Claude Micha, pour m'avoir acceptée parmi ses mémorants et pour m'avoir guidée lors des moments de doute. Encore merci pour m'avoir accueillie au sein de l'Unité de Recherche en Biologie des Organismes.

Merci aussi à mon tuteur, David Delforge, pour ses conseils et l'aide précieuse qu'il m'a apportée. Encore merci, pour son aide et sa patience avec le français.

Merci également à Pierre Fossion et André pour son aide avec la rivière artificielle et les jours de pêche.

Je tiens encore à témoigner ma reconnaissance à tous ceux qui ont contribué, de près ou de loin, à mon épanouissement personnel, en particulière à ma famille et mes amis d'Espagne qui ont été tout l'année très présents.

Mes amis Erasmus, tout d'abord : Soraya, Claire, Jan, Paolo, Alvaro et Alessandro, dont l'humour et le bon ambiance a été présent pendant toute l'année. Je leur donne rendez-vous pour des nouvelles aventures.

Mes amis : Sylvain (« hasta siempre »), Émilie, Delphine, Geneviève, Hélène, Victor ... en général à tous mes copains des cours pour m'avoir accueilli de cette manière.

En fin, un grand merci aux professeurs et à toute l'équipe de chercheurs et de techniciens de l'URBO.

Merci de nouveau à tous et on se rencontrera peut-être en Espagne, n'est pas ?

Table des matières

INTRODUCTION ET PROBLEMATIQUE	1
1. SYNTHESE BIBLIOGRAPHIQUE	2
1. Présentation de l'espèce	3
1.1 Introduction	3
1.2 Taxonomie	4
1.3 Distribution géographique	4
1.4 Biologie générale	5
1.5 Cycle de vie	6
1.5.1 Généralités	6
1.5.1.1 Phase juvénile	8
- Stade alevin	8
- Stade tacon	8
- Stade smolt	8
1.5.1.2 Phase adulte	9
- Vie en mer	9
- Migration de reproduction	10
2. Utilisation de l'espace	10
2.1 Au cours d'une année	11
2.2 Au cours d'une journée	12
2.3 En migration	12
2.4 Interactions entre les classes de tailles différentes	13
2.4.1 Milieu naturel	13
2.4.2 Milieu contrôlé	14
3. Migration	14
3.1 Généralités	14
3.2 Avantages de la diadromie	14
3.3 Migration en mer	15
3.4 Homing	15
3.5 Divagation	16
3.6 Facteurs naturels qui affectent la migration	17
2. MATERIEL ET METHODES	18
2.1 Milieu d'étude naturel	18
2.1.1 Description du milieu d'étude naturel	18
2.1.2 Protocole expérimental	18

2.1.2.1 Traitement des données	19
2.1.2.1.1 Densité de la population	19
2.1.2.1.2 Traitement des variables d'habitat	20
2.2 Milieu d'étude artificiel contrôlé	20
2.2.1 Description du milieu d'étude artificiel contrôlé	20
2.2.2 Protocole expérimental	24
3. RESULTATS	27
3.1 Milieu d'étude naturel	27
3.1.1 Données des pêches électriques	27
3.1.2 Taille des poissons	27
3.1.3 Analyse de l'habitat des poissons	28
3.1.3.a. Répartition en fonction du substrat	28
3.1.3.b. Répartition en fonction de la profondeur	28
3.1.3.c. Répartition en fonction de la distance à la berge	29
3.1.3.d. Répartition en fonction de la vitesse de courant	30
3.2 Milieu d'étude artificiel contrôlé	31
3.2.1 Introduction	31
3.2.2 Interactions entre les saumons	31
3.2.3 Rythme d'activité journalière	35
3.2.4 Types des interactions	37
3.2.5 Température et interactions	39
3.2.6 Autres observations	41
4. INTERPRÉTATION DES RÉSULTATS	42
4.1 Effet de la profondeur sur la répartition	42
4.1.1 En milieu artificiel	42
4.1.2 Comparaisons en milieu artificiel et en milieu naturel	45
4.2 Effet de la vitesse sur la répartition	47
4.2.1 En milieu artificiel	47
4.2.2 Comparaisons en milieu artificiel et en milieu naturel	51
4.3 Discussion générale, conclusions et perspectives	52
5 BIBLIOGRAPHIE	54
6. ANNEXES	

INTRODUCTION ET PROBLÉMATIQUE

Dans le cadre du projet « Meuse-Saumon 2000 », des pêches de contrôle sont réalisées en automne dans les rivières où sont réimplantés les jeunes saumons atlantiques. Lors de celles-ci il a été remarqué que des différences de croissances et de survie apparaissaient en fonction de la proportion de 0+ et de 1+.

Différentes hypothèses peuvent être proposées afin de répondre à cette problématique :

1. il se met en place une compétition pour les meilleurs habitats
2. il existe une compétition pour les ressources alimentaires.

Dans ce cas, nous nous pencherons sur la compétition pour l'habitat et pour ce faire, nous étudierons les poissons dans leur milieu naturel. Le Samson, rivière salmonicole de la région namuroise, fut choisi pour l'étude au vu des possibilités de suivis des différents paramètres de l'habitat.

Un second volet de l'étude sera d'observer le comportement des poissons en milieu artificiel contrôlé. Différentes expériences de cohabitations de tacons de différentes classes d'âge furent menées en rivière artificielle aux Facultés Universitaires de Namur. Cette partie de l'étude sera divisée en trois volets (cohabitation, 0+ seuls et 1+ seuls) qui permettront de différencier l'effet de la compétition au sein des classes d'âge.

Ces résultats devraient nous permettre d'avoir une meilleure idée des interactions entre classes d'âge et une meilleure compréhension des mécanismes qui se superposent aux effets des variables du milieu physique de la rivière reempoisonnée.

Après une présentation succincte de l'espèce cible, on précise la méthodologie qui va nous permettre de comparer les effets du milieu sur nos deux groupes d'âge.

1. SYNTHÈSE BIBLIOGRAPHIQUE

1. Présentation de l'espèce

1.1 Introduction

1.2 Taxonomie

1.3 Distribution géographique

1.4 Biologie générale

1.5 Cycle de vie

1.5.1 Généralités

1.5.1.1 Phase juvénile:

- Stade alevin

- Stade tacon

- Stade smolt

1.5.1.2 Phase adulte:

- Vie en mer

- Migration de reproduction

2. Utilisation de l'espace

2.1 Au cours d'une année

2.2 Au cours d'une journée

2.3 En migration

2.4 Interaction entre les classes de tailles différentes

2.4.1 Milieu naturel

2.4.2 Milieu contrôlé

3. Migration

3.1 Généralités

3.2 Avantages de la diadromie

3.3 Migration en mer

3.4 Homing

3.5 Divagation

3.6 Facteurs naturels qui affectent la migration

1. Présentation de l'espèce

1.1 Introduction

Le saumon atlantique, (*Salmo salar* Linnaeus, 1758) est un poisson migrateur anadrome, benthopélagique, il vit dans l'hémisphère nord dans les rivières, les lacs et mers des zones tempérées et froides. Il se reproduit en eau douce au même endroit où il est né après avoir passé quelques années en mer où il s'est développé. Ce processus de migration de la mer vers la rivière s'appelle "homing". Cette diadromie lui permet de bénéficier en rivière d'un endroit favorable pour le frai et la croissance des juvéniles et de trouver en mer des potentialités alimentaires supérieures qui favorisent sa croissance jusqu'au stade adulte (Davaine *et al.*, 1987). Il vit en eaux fraîches, entre 2- 9°C, saumâtres et marines.

Le saumon est poïkilotherme, c'est à dire que les variations de température ont un rôle important sur la régulation de son métabolisme (Davaine *et al.*, 1987).

Dans les régions à climat tempéré, une longue saison de croissance est assurée entre 6 et 8 mois avec seulement un ralentissement hivernal. Dans les pays plus Nordiques ou plus continentaux, la saison de croissance est beaucoup plus réduite (Baglinière *et al.*, 1987).

(Figure 1.1).

Le corps est élancé et hydrodynamique, la bouche se trouve à l'extrémité antérieure de la tête. Le tacon a des tâches ovales latérales au niveau de la ligne latérale appelées "marques de tacon", la nageoire caudale est très échancrée, le maxillaire s'étend légèrement au delà de la marge postérieure de l'œil chez les mâles et en bas chez les femelles et les petits adultes. Les nageoires pectorales bien développées permettent la stabilisation du saumon sur le substrat (Gueguen *et al.*, 1994). Ils portent une seconde nageoire dorsale non-rayonnée appelée nageoire adipeuse qui est typique de la famille *Salmonidae*.

Les juvéniles sont adaptés aux cours d'eau très rapides ce qui fait que leur corps est plus fusiforme et leurs nageoires pectorales sont plus longues (Nicieza *et al.*, 1995).

Ces caractéristiques subiront des changements après la migration et pendant la phase de vie marine au niveau de la morphologie et de la coloration.

Son importance économique est grande eut égard à la qualité de sa chair .

Saumon atlantique juvénile



Saumon atlantique adulte



1.2 Taxonomie

Le saumon atlantique a été nommé et décrit en 1758 par Carolus Linnaeus, mais ce n'est que dans la première partie du 19^{ème} siècle que les adultes de saumon atlantique et les smolts qui étaient trouvés dans les rivières, ont été considérés comme la même espèce. Sa classification est la suivante:

Phylum: *Chordata*

Classe: *Osteichthyes*

Ordre: *Salmoniformes*

Famille: *Salmonidae*

Genre: *Salmo*

Espèce: *Salmo salar*

1.3 Distribution géographique

Il habite dans les zones tempérées et froides dans le nord de l'Atlantique. Les saumons migrent vers la mer pour atteindre les aires d'engraissement maritimes qui sont situées à l'ouest du Groenland, dans le nord des îles Féroé et au niveau de la mer de Norvège (Davaine *et al.*, 1994).

Sur la côte Ouest américaine il est présent depuis Québec (Canada), jusqu'au Connecticut (USA) où il est possible de trouver des populations importantes (Québec oriental, l'île de Terre-Neuve, Provinces Maritimes,...).

En Europe on le trouve de la rivière Douro (Portugal) jusqu'en Norvège, des populations naturelles sont encore présentes: dans le nord de l'Espagne, les îles britanniques, en Bretagne, en Islande, dans les pays Baltes et en Russie. La limite méridionale d'extension du saumon atlantique se trouve dans les rivières du nord-ouest de l'Espagne (Martin Ventura, 1987).

Il est encore abondant dans l'est de Canada, les îles Britanniques et en Scandinavie (Ade, 1989). Mais c'est à cause de la surexploitation, la pollution résultante des développements industriels, urbains et agricoles, l'aménagement des rivières pour la navigation, la construction des barrages,... que les saumons ont souffert d'une forte régression qui a conduit dans beaucoup de zones à sa disparition.

En Belgique, la souche originaire, souche mosane, a complètement disparu depuis les années 40 (Leblanc, 2000) (Figure 1.2).

1.4 Biologie générale

Le saumon atlantique est bien adapté aux rivières naturelles aux eaux non polluées et tempérées, sa présence est considérée comme un symbole de pureté de l'eau (Bielak *et al.*, 1987). Plusieurs facteurs naturels ou artificiels qui sont difficiles à caractériser peuvent limiter la productivité d'une rivière à saumons, la limitation dépend des paramètres physiques, hydriques, biologiques, environnementaux et sans oublier les effets de l'homme sur le milieu. Mais les saumons ont développé un comportement pour s'adapter aux changements du milieu où ils habitent, s'il n'y a pas d'obstacles à sa migration et si l'eau est exempte de pollution (Frenette *et al.*, 1987).

Les conditions minimales de survie des saumons pendant toute l'année sont: 1) l'eau doit être rapide 2) la température inférieure à 20 °C et 3) la concentration en oxygène dissous supérieure à 5 mg/l (Projet "Meuse Saumon 2000"). Une concentration d'oxygène de 1,1 à 2,3 mg par litre sont létales selon l'âge des tacons (Davaine *et al.*, 1987). Toutes les fonctions biologiques ont lieu dans l'intervalle thermique de 0 °C à 24 °C (Chaumont *et al.*, 1987).

Les jeunes saumons occupent des zones à courant rapide en eau douce, parce qu'ils cherchent de l'eau froide et bien oxygénée (Vassen, 1998) qui sont en général peu productives (Davaine *et al.*, 1987). Le temps qu'ils restent dans les rivières va dépendre de la température de l'eau et de la quantité de nourriture. Une fois dans la mer, le poids final dépendra aussi de l'abondance de celle-ci. De retour en eau douce, les saumons cessent de s'alimenter, il y a atrophie du système digestif et développement des gonades. Ils perdent du poids à mesure qu'ils entrent en eau douce (Belding, 1934).

Les fluctuations de pH limitent aussi la survie des jeunes saumons, les eaux qui proviennent de la fonte des neiges ainsi que des pluies acides provoquent un haut taux de mortalité chez les alevins (Davaine *et al.*, 1987).

La qualité de l'eau dans la rivière où les adultes vont se reproduire doit être suffisante et il doit y avoir une proportion et une répartition favorable des zones de repos pour les adultes qui viennent se reproduire (pools) et des zones pour l'alimentation des jeunes (plats) (Gueguen *et al.*, 1994).

Le substrat des sites de frayères doit être composé de graviers hétérogènes et à granulométrie plutôt grossière (Beall, 1994) et sa perméabilité est très importante parce qu'elle est liée avec le possible colmatage des graviers. Le débit d'eau est aussi un facteur important pour les possibles destructions des crues sur la structure des frayères (Davaine *et al.*, 1987). La vitesse du courant dans les frayères varie de 0,15 à 1 m/s avec une moyenne de 0,5 m/s (Beall, 1994).

La température de l'eau influence la croissance des jeunes saumons, elle joue un rôle très important sur la physiologie des saumons ainsi que sur la quantité d'oxygène dissous dans l'eau. C'est le principal facteur qui règle la distribution géographique des saumons (Heland *et al.*, 1987).

Le nombre de smolts qui sont produits dans une zone est lié à la qualité de celle-ci. La qualité de l'eau dépend de l'utilisation à laquelle est soumise la terre qui est proche de la rivière, s'il y a des terrains utilisés en agriculture, en élevage, en industrie,... . Une augmentation du niveau de l'eau sur des terrains qui ne sont pas stables peut causer une

érosion de la terre de la berge ce qui produit une turbidité qui affecte les populations (Shearer *et al.*, 1992).

Différents produits chimiques comme les engrais, pesticides, herbicides, ... ont des effets négatifs sur les populations et sur les conditions trophiques.

1.5 Cycle de vie

1.5.1 Généralités

Les frayères du saumon sont situées en zones d'accélération du courant à l'amont d'un radier et à proximité d'une fosse qui permet le repos. Elles sont situées à une profondeur d'une dizaine de centimètres et quelques mètres en fonction des conditions de courant et elles sont sélectionnées par les femelles. Une bonne circulation de l'eau à travers les espaces des frayères est nécessaire pour assurer la survie des oeufs (Beall, 1994; Mills, 1989). C'est en septembre- octobre- novembre qu'a lieu la période de fraie (Frenette *et al.*, 1987).

Les *oeufs* ont été déposés en automne, entre 70 et 160 jours sont nécessaires pour qu'ils se développent avec une température optimal de 4°C à 11°C (Heland *et al.*, 1994) parce que des températures supérieures ou égales à 12°C bloquent le frai des saumons (Beall, 1994) et c'est au printemps que les *alevins* émergent des galets de la frayère. Ils demeurent dans le gravier jusqu'à ce que le sac vitellin soit complètement résorbé. Commence alors la phase plus critique dans laquelle ils doivent mettre en place les mécanismes essentiels pour leur développement (Heland *et al.*, 1994) comme celui de faire opposition au courant dans la rivière (Heland, 1987). C'est pendant la période d'alevinage (avril- octobre) qu'il y a un réchauffement des eaux à mesure que le débit diminue, les températures les plus chaudes sont obtenues en juillet et août (Frenette *et al.*, 1987).

Ils partiront vers les zones d'engraissement où leur croissance sera accélérée (Gueguen *et al.*, 1994). Chaque aire d'engraissement a une composition propre des saumons originaires des différentes régions mais ils réalisent des migrations saisonnières d'une aire à l'autre qui dépendent de la température des eaux en surface (Reddin *et al.*, 1987).

Ils restent quelques années dans la mer, on appelle *castillons* des saumons d'une année et *saumons* des deux années et plus. Quand les adultes quittent les aires d'engraissement ils nagent activement jusqu'à ce qu'ils retrouvent la zone estuarienne où ils détectent les sensations odoriférantes qui identifient leur lieu d'origine; les mouvements des marées de la zone estuarienne pourraient agir sur les mécanismes d'orientation olfactive et inciter les saumons pour qu'ils commencent à nager vers l'amont de sa frayère natale (Morin *et al.*, 1987). C'est durant l'été qu'ils remontent vers leur rivière d'origine.

Pendant la période de reproduction les mâles subiront des changements morphologiques liés aux caractères sexuels secondaires, les mâchoires des mâles s'allongent jusqu'à 1,5 fois de leur longueur initiale (becard), il y a aussi une augmentation de la taille de la nageoire adipeuse. Les mâles possédant les plus grandes réserves énergétiques ont les caractères sexuels secondaires plus développés (Fleming *et al.*, 1994).

Les femelles vont construire un nid où elles déposeront entre 1000 et 2000 oeufs par kilo de poids vifs. Une femelle peut répartir ses oeufs dans plusieurs sites de frai (Mills, 1989; Baglinière *et al.*, 1990). Les mâles fertiliseront les œufs de leur laitance.

A l'approche du frai, il y aura un ou plusieurs mâles anadromes autour d'une femelle ainsi que un nombre élevé de mâles précoces non-migrants .(Hutchings *et al.*, 1994).

Ceux qui survivent au processus de reproduction sont només *charognards* représentés par 5% (Mills, 1989; Shearer, 1992) à 10% du total, retournent à la mer et peuvent encore frayer de trois à six fois (Projet “Meuse Saumon 2000”) (Figure 1.3).

Les individus qui se reproduisent dans les parties plus basses de la rivière principale sont plus grands que ceux qui migrent vers les petits affluents et dans les grandes rivières, les saumons qui vont plus loin en mer, sont les premiers qui arrivent au niveau des rivières (Vassen, 1998).

1.5.1.1 Phase juvénile

Préalablement à la phase juvénile il y a une phase de développement larvaire qui finit quand les juvéniles sortent des galets de la frayère. A ce moment a lieu la phase de développement la plus critique, parce qu'ils doivent s'adapter aux nouvelles conditions du milieu: orientation, comportement de nage, alimentation exogène, rythmes d'activité,... (Heland *et al.*, 1994).

- Stade alevin

Il commence après l'émergence en mars- avril et finit au début de l'été suivant. La taille moyenne s'étale de 3,5 à 4 cm (Heland *et al.*, 1994). Ils chercheront l'emplacement le plus approprié par rapport à la dépense d'énergie nécessaire et à la quantité de nourriture disponible (Heland, 1987) (Figure 1.4).

- Stade tacon

La durée de ce stade varie entre 1 à 6 ans en Europe et dépend de la température de l'eau et de la latitude. Cette phase dure jusqu'à ce qu'ils commencent le processus de smoltification (Heland *et al.*, 1994). La transformation de tacon en smolt est caractérisé par différents processus comme 1) la régulation de la concentration du Cl^- plasmatique, 2) le système Na^+ , K^+ - ATPase,... qui sont influencés par l'action combinée de la température et de la photopériode. Une longue photopériode combinée avec une grande température vont interférer dans l'achèvement des transformations de tacon en smolt ainsi qu'une stimulation de la maturation sexuel parmi les mâles après seulement six mois en mer (Solbakken, 1994) (Figure 1.5).

- Stade smolt

Période qui commence avec la smoltification juste avant la migration vers la mer. Ce phénomène pré-programmé est synchronisé par des facteurs de l'environnement, principalement la photopériode et la température (Boeuf, 1994 ; Solbakken, 1994).

Il y a des changements de coloration, le tacon devient argenté (par dépôt de guanine et d'hypoxanthine dans les cellules sous- épithéliales), il y a un affinement du corps, son pédoncule caudal devient plus marqué, il apparaît un liseré noir sur les nageoires (surtout sur la dorsale et la caudale),... et ils adoptent un comportement grégaire (Boeuf, 1994; Heland *et al.*, 1994). Il devient capable d'élever les niveaux plasmatiques de chlorure et de sodium avant son passage en mer, les lipides diminuent et de longues chaînes d'acides gras insaturés apparaissent ainsi que des nouvelles formes d'hémoglobine. La consommation d'oxygène est plus élevée par rapport aux tacons (Boeuf, 1994).

Au niveau des hormones il y a des grands changements:

1) les smolts sécrètent plus d'hormones thyroïdiennes que les tacons qui interviennent sur la croissance, l'apparition des nouvelles formes d'hémoglobine, la mémorisation de l'environnement au moment du départ,...

2) la glande inter-rénale subit des modifications accompagnées d'une augmentation de cortisol circulant (à la fin de la smoltification),...

3) l'insuline diminue à la fin de la smoltification,

4) l'uropyge présente des signes d'hyperactivité, ... (Boeuf, 1994).

(Figure 1.6).

Une fois que le smolt entre en mer, il y a activation de l'absorption d'eau par l'intestin pour compenser la diffusion de l'eau vers l'extérieur par pression osmotique. L'urine en mer est plus concentrée et moins abondante qu'en eau douce. Les branchies vont suivre, au cours de la smoltification, des changements morphologiques, biochimiques et physiologiques et c'est à son niveau que vont se produire la plupart des échanges respiratoires, de perte massive des calories (pour l'oxydation des réserves,...) d'excrétion de l'ammoniaque et de la plus grande partie de l'osmorégulation (Boeuf, 1994).

Différents groupes de saumons qui ont subi une augmentation de la température au mois de février ont développé préalablement une capacité hypo-osmorégulatoire par la mise en place du système enzymatique Na^+/K^+ -ATPasique ce qui leur permet d'acquérir une augmentation de la tolérance à la salinité vitale en milieu marin. Pour les saumons la température idéale à laquelle se produit la smoltification est de 13 à 16°C (Boeuf, 1994).

Mais tous les saumons ne smoltifient pas en même temps, c'est pourquoi il y aura une hétérogénéité des tailles, les plus grands seront plus agressifs et ils auront accès aux meilleurs territoires (Vassen, 1998).

Une augmentation de la photopériode fait que différents processus de la smoltification se produisent en avance si la taille et l'état physiologique des juvéniles sont adéquats (Solbakken, 1994). Des perturbations d'éclairement ou obscurité inhibent ou décalent la smoltification (Boeuf, 1994). Ces individus sont en général âgés d'un et deux ans et font une taille moyenne de 11 à 24,1 cm pour des poids de 14 à 130 grammes (Baglinière *et al.*, 1987).

Quand les smolts commencent leur migration leur taille est de l'ordre de 12-15 cm (Baglinière, 1976; Heland *et al.*, 1994).

1.5.1.2 Phase adulte

- Vie en mer

Avant de migrer vers l'aire d'engraissement, ils vont rester quelques jours à l'embouchure de la rivière pour bien s'orienter et selon les courants marins, ils pourront parcourir de 25 à 50 km par jour (Vassen, 1998).

La nourriture pendant les premières semaines en mer est constituée d'invertébrés pélagiques ou benthiques (Vassen, 1998). C'est grâce au développement des pêches en haute mer (à partir de la fin des années 50) que la localisation des aires d'engraissement ont pu être connues (Davaine *et al.*, 1994).

Différents types de saumons (tableau 1.1) sont définis en fonction de l'âge en mer:

- Migration de reproduction

La plupart des adultes sont âgés de un et deux ans de mer avec une prédominance d'individus ayant un an en mer (Baglinière *et al.*, 1987).

Cette phase commence quand les saumons adultes reviennent vers leur rivière natale après avoir passé quelques années en mer. Quand ils rentrent en eau douce ils arrêtent de se

nourrir, il y a des changements physiologiques qui surviennent comme une atrophie de son système digestif pour augmenter leur potentiel reproducteur, ils perdent du poids et vivent des réserves accumulées en mer (Baglinière *et al.*, 1987 ; Fleming *et al.*, 1994). Avant d'arriver au niveau des frayères, ils peuvent passer entre 8 et 15 mois en rivière. Le poids final peut être entre 6 à 13 kilos (Philippart, 1985).

2. Utilisation de l'espace

Les saumons n'utilisent pas tous les habitats de la rivière, ils vont utiliser les zones qui s'adaptent le mieux à leurs préférences abiotiques: température, photopériode, qualité de l'eau, etc., et biotiques: présence d'autres saumons ou d'autres espèces, présence de nourriture... Pour les jeunes saumons les zones où les densités sont les plus fortes se caractérisent par une vitesse du courant entre 0,5 et 0,7 m/s et une granulométrie grossière. Les alevins se trouvent en plus forte proportion dans les zones peu profondes avec un substrat granuleux et à courant modéré (Heland, 1987; Baglinière *et al.*, 1994). Le comportement individuel et l'habitat vont influencer l'abondance de la population (Gueguen *et al.*, 1994).

Les variations de largeur, de pente et le cours de l'eau, influencent la quantité et la stabilité des habitats disponibles pour les saumons qui sont plus nombreux dans les rivières plus grandes par rapport aux truites qui préfèrent les petits affluents.

La taille des nageoires est liée à l'occupation des lieux avec un écoulement rapide. Les jeunes saumons ont des nageoires pectorales très grandes par rapport à leur taille et avec une morphologie plus élancée.

Les jeunes saumons qui occupent un poste pour s'alimenter, ne doivent pas réaliser de travail pour rester en place grâce à leurs nageoires pectorales, mais quand ils nagent contre le courant ils se fatiguent très rapidement, beaucoup plus rapidement que les truites (Kalleberg, 1958) (Figure 1.7).

2.1 Au cours d'une année

Les juvéniles commencent à sortir des frayères à la fin de la saison ils vont se disperser vers l'aval de la rivière jusqu'à 600 m de leur origine. Vers l'amont les migrations sont plus limitées et on peut les trouver à une distance de 100 à 200 m (Egglishaw *et al.*, 1980; Heggenes *et al.*, 1991). Le comportement de quelques alevins pendant cette dispersion vers l'aval est influencée par l'effet de certains facteurs physiques tels que la température, les variations du niveau de l'eau et la luminosité nocturne (différent en fonction des phases lunaires).

Le maximum de dispersion a lieu pendant les trois heures après le coucher du soleil et elle est plus grande quand les températures sont élevées (Marty *et al.*, 1987). Les alevins éviteront les juvéniles d'un an jusqu'à ce qu'ils aient au moins une taille de 6 cm (Heland, 1987) et avec la dévalaison diminuera la compétition territoriale des zones de frayères surpeuplées (Marty *et al.*, 1987).

)Figure 1.8).

Les alevins chercheront les lieux les plus appropriés par essai- erreur pour minimiser la dépense d'énergie en maximisant la capture des proies, les jeunes saumons d'élevages qui ont été déversés en milieu naturel restent moins sur le fond que les jeunes saumons sauvages, ce qui peut occasionner une mortalité plus grande. Cela a aussi été observé dans le cas des truites rempoissonnées (Heland, 1987).

Dans les parties inférieures de la rivière les saumons sont prédominants par rapport à d'autres espèces comme la truite, il sont capables de supporter des températures plus hautes

pendant différentes périodes de l'année, le stress thermique commence entre 25- 28°C. (Elliott, 1991).

La disponibilité d'abris dans le substrat de la rivière peut limiter la densité de quelques populations des saumons pendant l'hiver. La capacité agressive est importante pour l'acquisition d'un abri. La grande mortalité pendant l'hiver montre la dépendance de la densité par rapport à l'utilisation d'un abri. La dominance dans les abris est liée à la taille, et cette dernière au tour d'agression (Orpwood *et al.*, 2003). Les pools sont les lieux où les rencontres de type agressif sont les plus observées, les saumons qui sont plus agressifs gagnent plus de poids que les autres, ainsi que les saumons qui ont un territoire sont d'habitude plus grand et plus agressifs que les saumons qui n'en ont pas. Les saumons plus agressifs peuvent occuper des territoires plus grands, mais ils n'occupent pas nécessairement les meilleures positions (Chiasson *et al.*, 2002).

Une grande taille apporte des bénéfices pour la survie des poissons pendant l'été par exemple parce qu'une grande capacité de nager vite augmente les chances d'échapper à un prédateur. En hiver, la taille est liée à la quantité des réserves qui est en relation directe avec la survie (Orpwood *et al.*, 2003).

Les juvéniles occuperont des zones peu profondes mais d'une vitesse du courant entre 0,3 et 0,6 m/s, mais pour les tacons des densités plus fortes sont observées dans les zones présentant une vitesse de courant supérieure à 0,5 m/s et une profondeur de 20 cm et des densités plus faibles dans les zones avec un écoulement entre 0,05 et 0,15 m/s.

(Figure.1.9).

Différents comportements pour défendre le territoire sont adoptés pour les jeunes saumons. Les tacons plus âgés sont distribués par rapport à une hiérarchie, ils n'ont pas un poste fixe d'alimentation (Stradmeyer *et al.*, 1987). Les salmonidés sont en compétition pour l'aliment et l'espace à travers la définition des territoires et l'expression d'une hiérarchie dominante (Chiasson *et al.*, 2002).

Il y a compétition à différents niveaux (physiologique, écologique,...) et pour chacun de ces niveaux il y aura des conséquences:

- au niveau physiologique, une compétition à court terme induit une détérioration de l'état physiologique de l'individu, une diminution de la croissance, une réduction de la taille adulte,...
 - au niveau écologique, une compétition à moyen terme, change la répartition spatiale des individus, modifie la composition de la communauté,...
 - au niveau de l'évolution, à long terme vont apparaître des adaptations génétiques, des nouveaux traits morphologiques, physiologiques,...
- (Nilsson, 1967; Diamond 1978).

Quand la température diminue à la fin de la saison, les jeunes saumons chercheront des zones avec une vitesse de courant plus faible, leur capacité de nage diminuera à cause de la basse température physiologique qu'ils ont à cause de son métabolisme poïkilotherme, ils adoptent une vie nocturne pour éviter les prédateurs. Les saumons présentent une diminution puis un arrêt de croissance quand commence la diminution de la température (Vassen, 1998).

Les saumons adultes se déplacent entre les trois zones d'engraissement principales et ils effectuent aussi des migrations saisonnières, leur distribution dans ces zones dépend de la température de surface de l'eau. Pendant l'été une nappe océanique de plus ou moins 10 m de profondeur sera colonisée et de 30 m en septembre (Davaine *et al.*, 1994; Reddin *et al.*, 1987).

2.2 Au cours d'une journée

Les saumons sont soumis à des variations des caractéristiques de l'environnement sur une période de 24 heures, liées à la lumière, source d'énergie,... et il y a une correspondance entre l'activité et la nourriture disponible pour les poissons. Les interactions agressives diminuent avec la baisse de luminosité et les activités locomotrices et alimentaires augmentent au début et en fin de nuit avec les pics de dérive des invertébrés (Gueguen *et al.*, 1994).

Quand les températures sont basses durant l'hiver, les juvéniles cherchent un abri dans le substrat pour passer le jour mais pendant la nuit ils sortent pour chercher la nourriture. L'abri donne des avantages comme une régulation thermique et zone de refuge lors des crues mais la fonction la plus probable c'est la fuite par rapport aux prédateurs (Orpwood *et al.*, 2003).

La compétition intraspécifique est plus intense que la compétition interspécifique, surtout au sein de la même classe d'âge (Chiasson *et al.*, 2002).

2.3 En migration

La migration vers la mer se déroule seulement pendant quelques semaines, et cette phase se déroule différemment selon la latitude. Les smolts vont migrer pendant une période assez courte s'étalant dans la plupart des rivières en avril ou mai, et c'est à la fin de la saison que les températures plus hautes inhibent la migration. La migration des post-smolts à l'embouchure de la rivière pour commencer la migration vers la mer se fait en surface (Vassen, 1998).

Au début d'avril et mai, les smolts se déplacent la nuit (Vassen, 1998; Riley *et al.*, 2002) et à la fin mai début juin, les déplacements se font pendant la journée. Avant de migrer vers la mer, ils resteront quelques jours dans la zone saumâtre de l'estuaire. Dans l'embouchure, les poissons migrent en surface et très vite ils vont s'orienter en mer, avec les courants marins ils pourront parcourir entre 25- 50 km par jour. Les migrations en mer paraissent suivre les courants océaniques giratoires du nord de l'Atlantique.

Les distances maximales d'aller et retour en migration sont de l'ordre de 14.000 km (Vassen, 1998).

La migration nocturne est considérée comme une tactique pour éviter la prédation, mais des températures de l'eau assez chaudes pendant l'après-midi peuvent faire diminuer l'habileté des saumons pour éviter les prédateurs endothermiques comme les oiseaux (Riley *et al.*, 2002).

Il est connu que les smolts migrent ensemble en bancs, mais différentes études comme celle de Riley *et al.* en 2002 ont montré que quelques-uns abandonnent les territoires d'alimentation et les bancs plus loin à l'aval que d'autres. Le comportement des smolts qui migrent plus tard en bancs sera différent par rapport à ceux qui l'ont déjà fait avant (Riley *et al.*, 2002).

2.4 Interaction entre les classes de tailles différentes

Quand les alevins sortent des frayères, ils vont se trouver avec d'autres classes de tailles de la même espèce et avec d'autres poissons de différentes espèces. La choix d'un habitat a pour effet de minimiser les interactions entre les classes d'âges (Gueguen *et al.*, 1994).

Tous les saumons ne smoltifient pas la même année, il existe une hétérogénéité de taille, les plus grands seront plus agressifs et ils auront accès aux meilleurs territoires. Il y aura aussi

une compétition avec d'autres poissons qui ont un cycle de vie similaire comme par exemple la truite commune (*Salmo trutta* L.), mais ce sont les truites qui émergent avant des frayères et qui ont une croissance plus rapide jusqu'au moment de la smoltification (Vassen, 1998).

Les saumons dans leur deuxième année de vie utilisent des habitats plus profonds et plus épars. Pour chasser dans les radiers ils restent sur de grosses pierres, mais si la zone est plus profonde et présente une vitesse de courant plus faible, la position sera la nage libre à quelques centimètres du substrat (Kalleberg, 1958; Stradmeyer *et al.*, 1987).

Les juvéniles disposent de différents comportements de menace et d'attaque pour défendre leurs territoires d'alimentation.

2.4.1 Milieu naturel

Les saumons plus âgés sont moins exigeants que les 0+, ils peuvent s'adapter aux habitats en fonction des conditions locales.

En comparaison avec des saumons et des truites du même âge, les truites utilisent des endroits avec un courant plus faible et sont plus proches des cachettes des berges par rapport aux saumons 0+ qui se trouvent à une faible profondeur et très loin des berges et des racines d'arbres. La vitesse moyenne du courant est plus élevée que chez les truites, mais il n'y a pas de différence avec les saumons plus âgés. Les postes des saumons 0+ sont caractérisés par une forte turbulence en surface.

Les saumons 1+ (qui sont dans leur seconde année de vie) sont distribués dans des habitats plus profonds que les 0+ et le substrat a une composition plus hétérogène qu'avec les 0+. La hauteur à laquelle les 1+ se situent pour chercher l'aliment dans la rivière dépend de la vitesse du courant. La plupart d'entre eux se situent sur le substrat.

Les saumons 1+ ont une grande flexibilité dans l'occupation de l'espace, ils peuvent utiliser les habitats avec un fort courant ainsi que des habitats avec un courant plus faible que ceux qui sont utilisés pour les truites, en adoptant le même comportement qu'elles.

Pendant le mois de juin il est observé une forte compétition intra- et interspécifique dans la recherche de nourriture (Gibson *et al.*, 1986).

Avant que le saumon n'atteigne la taille de 6- 7 cm, les juvéniles évitent la confrontation avec les classes d'âges plus âgées, mais à partir de cette taille il y a apparition de comportements agressifs en relation avec la compétition pour le territoire (Gueguen *et al.*, 1994).

2.4.2 Milieu contrôlé

Il a été observé des comportements de défense dès que les jeunes saumons ont émergé du gravier, en rivière artificielle les parades de menace sont similaires entre les truites et les saumons, jusqu'au stade tacon.

Le comportement agressifs des tacons est composé principalement d'attaques frontales accompagnés de mouvements d'approche très rapides (Kalleberg, 1958).

Les saumons plus âgés ont deux types de parade :

- Parade de menace frontale, quand le saumon se dirige tout droit vers un autre individu. Seule la nageoire dorsale est repliée, le dos devient plus convexe et la bouche est ouverte et son fond est dilaté vers le bas.

- Parade de menace latérale, le dos est normal mais toutes les nageoires sont étendues au maximum. Cette position est souvent accompagnée d'un mouvement d'oscillation. Différentes études ont montré que les truites ont sur les saumons de même âge une dominance pour exclure les saumons de son territoire (Kalleberg, 1958).

3. Migration

3.1 Généralités

Le saumon atlantique est un migrateur anadrome qui après avoir subi le processus de smoltification descend vers la mer où il va se développer. Il doit ensuite retourner vers sa rivière d'origine pour se reproduire ce qui est connu comme étant un phénomène particulier appelé *homing*.

3.2 Avantages de la diadromie

La diadromie est la capacité de certains poissons de vivre dans deux milieux très différents comme l'eau douce et l'eau de mer pour profiter des avantages de chaque milieu pendant les périodes plus ou moins longues de son cycle vital. En rivière il va bénéficier d'un habitat favorable pour le frai et la croissance des juvéniles. Chez cette espèce, le taux de survie des oeufs est plus élevé que chez d'autres espèces qui abandonnent leur oeufs en milieu ouvert. Mais cet avantage produit une forte compétition pour la nourriture et l'espace qui provoque la migration des poissons vers la mer (Davaine *et al.*, 1994).

L'anadromie lui permet de croître plus rapidement, d'atteindre une taille importante et d'être plus fécond. En effet, il profite en mer d'un environnement plus riche en nourriture et où règnent des conditions thermiques plus favorables à sa croissance (Davaine *et al.*, 1994; McDowall, 2001; Riley *et al.*, 2002). Cependant, la migration est aussi source d'un taux de mortalité élevé.

Une taille plus grande à l'âge adulte apporte des avantages: la fécondité des femelles les plus grandes est plus élevée ainsi que la taille de ses oeufs, elles vont occuper les meilleures zones pour frayer; les mâles les plus grands auront une capacité à défendre leur place sur les frayères plus importantes également (Gross 1985; McDowall, 2001) et ce sont eux qui vont souvent s'y trouver les premiers (Baglinière *et al.*, 1994).

La diadromie sera un avantage évolutif si le bilan "croissance en mer- coût énergétique de la migration" est supérieur à la croissance en eau douce (Davaine *et al.*, 1994).

3.3 Migration en mer

Deux processus différents contrôlent la migration vers la mer, le premier concerne les changements physiologiques et morphologiques associés à la smoltification et le deuxième concerne les signaux de l'environnement (facteurs externes) qui stimulent la migration quand la smoltification a été complétée. L'intensité et le rythme des migrations au printemps sont en corrélation avec une variété des facteurs de l'environnement comme l'augmentation de température de l'eau ainsi que du niveau de base de la température dans la rivière au printemps, l'intensité de la lumière, l'écoulement de la rivière et la turbidité de l'eau (Riley *et al.*, 2002).

Il peut exister différentes mesures de contrôle pour la smoltification et la migration qui sont différentes d'une rivière à une autre (Mills, 1989). L'activité nocturne des smolts migrants est liée positivement au niveau d'eau tandis que l'activité diurne est corrélée très fortement à la température, entre 8°C et 12°C, et l'activité journalière de dévalaison montre deux pics, le matin et le soir (Thibault *et al.*, 1987).

En avril, il existe une relation du rythme des migrations vers la mer avec:

- 1) le début de la nuit
- 2) la période de la journée avec les températures les plus hautes, mais les fréquences de migration les plus hautes ont lieu au début de l'obscurité plutôt que avec les hautes températures (Riley *et al.*, 2002).

3.4 Homing

Plusieurs mécanismes peuvent servir d'hypothèses pour expliquer le choix d'un habitat déterminé pour se reproduire mais, le homing est le plus sophistiqué et il apporte ses avantages.

Un avantage adaptatif du homing est qu'il permet une évolution et une meilleure exploitation des conditions écologiques aux stocks qui sont déjà adaptés (parce qu'ils sont nés là) dans un lieu déterminé (McDowall, 2001).

Le retour vers sa rivière natale dépend de l'information qui reste gravé dans le smolt pendant sa période de développement, il apparaît que l'odorat est le signal le plus important pour la navigation des saumons, mais il manque beaucoup d'information sur la nature des odeurs, le processus dans lequel l'information reste gravé et le processus d'orientation qui est nécessaire pour qu'ils trouvent leur rivière natale (Thorstad *et al.*, 2003). Selon Morin *et al.* (1987) avant de partir vers la mer, il y a un apprentissage rapide des sensations odoriférantes du milieu, l'information restera dans la mémoire du saumon à long terme comme une empreinte olfactive. Le rôle de l'olfaction a été mis en évidence par des expériences de privation sensorielle comme celles dans lesquelles il y avait des lésions des nerfs olfactifs (Saglio, 1994).

Deux hypothèses essayent d'expliquer le mode d'action et l'identité des substances odorantes utilisées par les saumons pendant le homing (Saglio, 1994):

- Celle d'Hasler dont le homing repose sur les capacités d'apprentissage olfactif des juvéniles et que les odeurs mémorisés proviendraient des caractéristiques du milieu de développement: de la faune, de la flore et du sol.
- Celle de Nordeng dont les reproducteurs utilisent la piste odorante qui a été émise par les juvéniles et les smolts de même parenté pour leur retour aux sites de frai.

L'odeur peut aussi provenir de la composition chimico- organique du bassin versant, par les phéromones et les sécrétions émises par les congénères ou par les individus de la même rivière.

Les saumons sont capables de mémoriser et ensuite de reconnaître l'odeur distinctive de leur ruisseau natal et de choisir les confluent appropriés dans la rivière principale pour arriver jusqu'au lieu où ils sont nés (McDowall, 2001).

Il existe une possibilité d'induction du homing comme il a été vérifié dans de nombreuses expériences de transplantation en Canada, en Norvège et en Islande, mais le taux de retour des transplants qui provenaient d'œufs artificiellement fécondés ou des smolts d'élevage était inférieur à celui que présentait les poissons natifs (Saglio, 1994).

La remontée a lieu surtout dans la nuit et on peut la diviser en trois phases: un mouvement vers l'amont, une période de stabilisation et une petite migration vers le lieu de reproduction (Hawkins *et al.*, 1986), les vitesses moyennes de remontée peuvent être comprises entre 3,5 et 12 km par jour (Gueguen *et al.*, 1994).

A la fin de l'année les saumons commencent leur montaison en eau douce, ils trouvent des lieux de repos où ils resteront les mois plus chauds. (Vassen, 1998).

Une très faible proportion de saumons s'abstient de migrer, ils resteront en rivière toute leur vie, s'y développeront et s'y reproduiront avec les saumons migrants. Ce poissons sédentaires sont en générale des mâles. Dans les espèces anadromes il peut apparaître un comportement flexible depuis leur translocation (ex. Chinook salmon, *O. tshawytscha*, poisson anadrome qui est devenu stable après sa translocation en Nouvelle- Zélande) et des individus anadromes peuvent devenir sédentaires (McDowall, 2001).

Il y a des différences dans le comportement pendant la migration entre les saumons sauvages et ceux qui ont été élevés dans des piscicultures. Les saumons élevés, quand ils arrivent à l'époque de la reproduction, vont monter au lieu où ils ont été libérés, mais montrent une préférence pour les grandes rivières par rapport aux petites (Thorstad *et al.*, 2003).

3.5 Divagation

Un autre phénomène existe chez une minorité d'individus: la *divagation*: les saumons ne trouvent pas l'estuaire de la rivière où ils sont nés. Ce phénomène a permis aux rivières restées vierges après les glaciations d'être repeuplées par cette espèce (Gueguen *et al.*, 1994). Le phénomène de divagation est beaucoup plus fréquent dans les populations qui ont été élevées en pisciculture par rapport aux populations sauvages (Morin *et al.*, 1987). Le homing n'est pas une règle absolue, tous les saumons ne retournent pas où ils sont nés, il y a des exceptions sans laquelle ils auraient déjà disparu de la terre (Chaumont *et al.*, 1987).

Il existe aussi des populations non- anadromes dont les individus restent en eau douce après la période normale de migration surtout au Canada et en Scandinavie. Dans ces populations de grands désordres dans le métabolisme, croissance, osmorégulation ont été observés (Gueguen *et al.*, 1994).

3.6 Facteurs naturels qui affectent la migration

Les facteurs de l'environnement comme la température, le niveau d'eau ainsi que son débit ont un rôle important sur le rythme et le succès des remontées des saumons.

La variation quotidienne de la quantité des saumons est directement mis en relation avec la variation du niveau de l'eau. L'intensité du vent et sa direction peut aussi faire que les saumons soient plus fréquents dans certaines zones.

La capacité maximale à laquelle peut nager un saumon est en relation inversement proportionnelle avec la température de l'eau et la longueur des saumons (Laine *et al.*, 2002).

Pour les smolts, le photopériode et la température de l'eau ont des effets importantes sur le système neuroendocrinien qui est le responsable de tous les changements physiologiques qui auront lieu pendant la smoltification. La température et le flux de l'eau sont aussi importants quand la migration des smolts commence, mais c'est la température de l'eau qui semble être le facteur qui a le plus d'importance. La phase de la lune aurait aussi des effets (Byrne *et al.*, 2003).

(Figure.1.10).

Les smolts sont seulement préparés aux conditions de salinité pendant quelques semaines au printemps et un retard dans la migration vers la mer (provoqué par exemple par un barrage,...) peut diminuer la survie des post- smolts parce qu'ils ont raté le moment optimal pour rentrer dans la mer. Si un poisson doit passer par beaucoup de barrages, la survie

de l'espèce sera menacée. Il existe aussi une relation entre les débits d'eau au printemps et la survie des smolts (Aarestrup *et al.*, 2003).

Normalement, la smoltification des tacons est effectuée après avoir passée deux années en eau douce, mais ce temps peut être réduit si la température de l'eau est plus favorable (Projet "Meuse Saumon 2000"). Des facteurs abiotiques comme la température et la photopériode vont synchroniser la smoltification, ainsi qu'un contrôle endocrinien et nerveux. Dans les pays qui se trouvent à haute latitude, la migration intervient très tard, entre juin ou juillet (Gueguen *et al.*, 1994).

Les saumons plus âgés peuvent être aussi la proie d'autres poissons mais aussi des oiseaux comme les hérons, les harles et les goélands (Heland *et al.*, 1994).

2. MATÉRIEL ET MÉTHODES

2.1 Milieu d'étude naturel

2.1.1 Description du milieu d'étude naturel

Le Samson est un ruisseau qui est né en amont de Gesves à une altitude de 280 m et qui parcourt 20,5 Km jusqu'à Thon- Samson où il se jette dans la Meuse.

Le bassin versant du Samson est occupé par l'agriculture (47 %), par des zones forestières (34 %) et le reste par des zones urbaines (19 %).

La pente moyenne du ruisseau est de 0,98 % avec un maximum de 1,3 % en Ardenne. Le débit est de 0,3 à 0,4 m³/sec, avec des maximums qui peuvent atteindre plus de 10 m³/sec pendant les crues. La température est comprise entre 2 et 16°C avec les données les plus élevées au mois d'août et les plus basses en janvier- février. Les différences journalières de température sont en général de moins de 2°C mais elles peuvent atteindre jusqu'à 5°C, ces différences sont maximums en avril- mai.

La quantité d'oxygène dissous est toujours voisin de la saturation (92 à 129 %), comme la température ne reste jamais très élevée, la concentration d'oxygène ne descend jamais en dessous de 9,3 mg/l, ce qui est suffisant pour les invertébrés et les poissons les plus exigeants.

Le ruisseau est typiquement calcaire, il se caractérise par un degré de minéralisation très important qui est du à la forte charge ionique en ions HCO₃⁻ et Ca⁺⁺ (K₂₀ = 400- 500 µS/cm).

Le pH est stable avec des valeurs d'entre 7,7 et 8,6 et avec une moyenne de 8,1 (Vassen, 1988).

2.1.2 Protocole expérimental

Ce sont les 20 et 21 octobre 2003 que par pêche électrique la capture des saumons a été effectuée dans le Samson.

La capture a été réalisée par les pêches électriques à l'aide d'un groupe électrogène DEKA, produisant un courant alternatif redressé réglable de 300 à 600 volts et développant de 2 à 6 ampères d'intensité.

Une seule anode de capture (un manche en matière isolante finissant par un anneau en métal) a été utilisé parce que les secteurs d'étude avaient une faible largeur. A l'amont du secteur de pêche, on a placé la cathode. L'équipe de pêche était composée de 3 personnes: un opérateur qui maniait l'anode, un autre qui récoltait les poissons avec l'aide d'une épuisette et la troisième qui prenait les mesures nécessaires.

Seuls les saumons étaient capturés, d'autres espèces présentes comme le chabot (*Cottus gobio* L.) etc., étaient libérés.

À mesure que la pêche avançait, des repères oranges (cailloux) étaient laissés à l'endroit où les saumons étaient pris.

Différentes mesures ont été faites sur chaque poisson au moment où ils étaient pris:

- la taille du poisson (la longueur à la fourche et la longueur totale), (mm),
- le poids (g),
- la présence de micro marque.

Pour étudier l'habitat où se trouvaient les saumons, les mesures suivantes ont été notées à l'endroit balisé:

- la profondeur de l'eau (cm), mesuré avec le manche gradué du courantomètre;
- la vitesse du courant (m/sec), à l'aide d'un courantomètre de type FLO- MATE, MARSH- McBIRNEY, INC. Model 2000 Portable Flowmeter, 3 mesures de courant étaient prises dans chaque lieu où il y avait un repère ;
- la distance minimale de la position du poisson à la berge (cm), mesurée à l'aide d'un mètre;
- la granulométrie du substrat, par l'observation directe et avec l'utilisation d'un système de classification du substrat qui est le suivant (table 2.1) :

C'est l'observateur qui a classé les poissons dans les différents groupes.

2.1.2.1 Traitement des données

Toutes les mesures prises de vitesse de courant, de profondeur, de distance à la berge et du type de substrat des deux secteurs pêchés ont été regroupés comme si elles appartiennent au même secteur.

2.1.2.1.1 Densité de la population

Deux passages ont été réalisés pour pouvoir estimer la densité de la population, par méthode des efforts de captures.

Le deuxième passage est effectué immédiatement après le premier pour que les conditions de la population soient les mêmes, ni mortalité ou naissance, ni immigration ou émigration. Pour la méthode des pêches successives, la proportion d'individus capturés décroît régulièrement d'un effort de pêche à l'autre si les poissons du premier passage ne sont pas relâchés.

Pour estimer la surface des secteurs pêchés, cinq mesures de la largeur de chaque secteur ont été mesurées avec un mètre ainsi que la longueur totale des deux secteurs étudiés.

On estime la densité de la suivante manière:

$$\text{Nest} = \frac{C_1^2}{C_1 - C_2} \quad \text{var.} = \frac{C_1^2 \times C_2^2 \times (C_1 + C_2)}{(C_1 - C_2)^4}$$

C_1 = nombre d'individus capturés au premier passage

C_2 = nombre d'individus capturés au deuxième passage

La densité estimée est exprimée en individus/100 m².

2.1.2.1.2 Traitement des variables d'habitat

Les données prises pour chaque capture: la distance à la berge, la profondeur, la vitesse de courant, la granulométrie du substrat, ont été utilisées pour la réalisation des

courbes d'utilisation d'habitat par les différentes classes d'âge selon la fréquence observée pendant les pêches contrôles.

On suppose que les saumons ont été pêchés dans les habitats les plus favorables pour leur développement.

Le traitement des données se fait séparément pour les différentes classes d'âges qu'on observe dans l'histogramme de la répartition des tailles.

- Distribution en fonction du substrat

La distribution du substrat dans les différents types est réalisée selon l'échelle modifiée d'après Wentworth (1985).

- Distribution en fonction de la profondeur

Des intervalles tous les 5 cm sont réalisés pour séparer les saumons selon l'utilisation d'habitat en fonction de la profondeur.

- Distribution en fonction de la distance à la berge

Pour établir les préférences d'habitat en fonction de la distance à la berge les intervalles ont été réalisés tous les 20 cm jusqu'à 360 cm parce que la largeur maximum était de 750 cm.

- Distribution en fonction de la vitesse de courant

Pour établir la distribution par rapport à la vitesse de courant des intervalles tous les 0,1 m/sec jusqu'aux 0,89 m/sec (vitesse maximum obtenue) ont été réalisés.

2.2 Milieu d'étude artificiel contrôlé

2.2.1 Description du milieu d'étude artificiel contrôlé

Les observations ont été réalisées dans la rivière artificielle construite en 1990 pour la thèse doctorale de Frank Vassen. Comme le montre la figure 2.1, il s'agit d'un caisson métallique. La paroi qui est du côté de l'observateur est constituée d'un vitrage transparent en plexiglas qui permet l'observation des poissons. L'autre paroi est constituée de planches en bois qui sont couvertes d'une couche de résine époxy de couleur grise.

Le caisson qui constitue la rivière artificielle a une longueur de 5 mètres, une largeur de 55 cm et une hauteur de 60 cm.

À l'amont et à l'aval du caisson métallique, il y a deux bassins en béton. L'eau sort du bassin situé à l'amont. Elle parcourt toute la rivière avec un débit constant de 28 litres par seconde et elle tombe dans le bassin de l'aval où grâce à l'action d'une pompe type Combinorm CN 125- 125 Stork, l'eau monte à un tuyau métallique de nouveau dans le bassin de l'amont.

La vitesse de courant et la profondeur sont toujours constantes grâce au débit d'eau stable.

Des graviers et des galets (5 à 220 mm) qui proviennent d'un petit affluent du Samson ont été utilisés pour couvrir le fond de la rivière artificielle de manière à reconstituer deux radiers et trois fosses.

Quand les 0+ et 1+ ont été introduits, quelques-uns sont morts (0+) parce qu'ils se sont mis dans des trous existants entre la frigolite et le vitrage. Pour éviter ça, beaucoup plus des petits cailloux ont été introduits et il y a eu un réagencement du substrat.

Pour interdire aux poissons de sortir de la rivière artificielle, à l'amont et à l'aval deux grilles de forme pyramidales permettent que l'eau circule librement. Seulement le jour où on a introduit les petits cailloux dans la rivière son nettoyage a été nécessaire vu la quantité de feuilles sèches qui étaient mélangées avec les cailloux.

- Cartographie de la profondeur et de la vitesse de courant

Quelques jours après la stabilisation du substrat, on a mesuré la profondeur et la vitesse de courant tous les 5 cm (en long et en large de la rivière).

Pour réaliser toutes les mesures, une corde avec des indications tous les 5 cm a été attachée aux deux extrémités de la rivière.

Pour mesurer la profondeur on a collé un mètre sur un bâton en bois. Pour la vitesse de courant on a utilisé le même courantomètre que dans les pêches contrôle du mois d'octobre : Model: FLO- MATE, Marque: MARSH- McBIRNEY, INC. Model 2000 Portable Flowmeter. La sonde du courantomètre utilisé pour mesurer la vitesse de courant se trouve à 5 cm du fond pour éviter l'effet du fond.

Avec toutes les mesures il est possible de réaliser la cartographie du relief du fond de la rivière artificielle ainsi que la cartographie de la distribution de la vitesse de courant au niveau du fond de la rivière artificielle.

- Photopériode

Sur la rivière artificielle il y a six ampoules électriques de 75 Watt, à une hauteur de 100 cm. Grâce à un chrono- programmateur (Phillips HR 5072/5073) on établit le contrôle de la photopériode avec une durée de 12 heures de lumière et 12 heures d'obscurité. Le jour commence à 8:30 du matin et finit à 20:30. Pendant un période de 30 minutes, le matin et le soir il y a une augmentation et une réduction graduelle de l'intensité de la lumière qui simule le lever et le coucher du soleil.

Pendant toutes les expériences, la porte du laboratoire est restée fermée et les fenêtres ont été couvertes avec des sacs en plastique noir pour éviter qu'avec la clarté l'observateur soit vu par les poissons.

Si l'observateur reste éloigné de plus de 15 cm, il est impossible que les poissons puissent le voir.

- Le système de nourrissage des poissons

Le système de nourrissage est le même que celui utilisé pour F. Vassen et il était basé sur une description de Reeves et Everest (1998). C'est un bassin de dilution de forme triangulaire en Plexiglas avec une capacité de 0,04 m³ et qui est situé à 120 cm de hauteur par rapport la rivière. Il est divisé en deux parties: 1) un compartiment primaire où se trouve l'aliment qui est dilué grâce à l'action d'une pompe d'aquarium qui fait monter l'eau. Il y a un petit trou de 2 cm qui communique avec la seconde partie et 2) un compartiment secondaire où il y a un apport plus grand d'eau (aussi grâce à la pompe) et où tombe l'eau avec la nourriture en suspension (Figure 2.3).

Quand le second compartiment est plein, il y a un tuyau de trop- plein qui permet que l'eau avec la nourriture diluée sort. Un bulleur d'aération est utilisé dans le compartiment primaire pour éviter le colmatage de la nourriture. Dans la base du triangle en plexiglas il y en a un tuyau en PVC qui permet la distribution de l'aliment par toute la rivière artificielle. Il a une longueur qui va de l'amont jusqu'à la moitié de la rivière, avec un diamètre de 20 mm et

une répartition en zig- zag. L'eau avec la nourriture diluée passe dans le tuyau et peut sortir par chacun des 13 trous séparés de 10 à 15 cm avec un diamètre de 5 à 7 mm.

Le programme de distribution de la nourriture a une durée approximative de 30 minutes. La sortie de l'aliment dilué est contrôlé par une vanne dans le tuyau PVC situé près de la base du bassin de dilution.

Il a été observé qu'une partie des larves de Chironomes qui n'étaient pas mangées par les poissons ne restaient pas dans la grille de l'amont et elles retournaient de nouveau pour la grille de l'aval.

- La température de l'eau

Pour maintenir la température dans la rivière un groupe de réfrigération a été installé.

Les variations de température au cours des expériences ont été de 11,5 à 24 °C. C'est une variation très grande dû aux problèmes d'utilisation du groupe de réfrigération qui ont fait que la température a provoqué le stress thermique. Les préférences de température du saumon se situent entre les 16 et 19 °C. De temps en temps il était nécessaire de nettoyer le filtre.

- Quelques entretiens

De temps en temps il a été nécessaire de nettoyer le filtre d'eau. Pendant ce temps là il était nécessaire d'arrêter la pompe de la rivière. Bien que le processus ne prenait pas beaucoup de temps, il altérait le comportement des poissons.

Pour l'introduction quotidienne de l'aliment la quantité de matière organique a augmenté, ce qui a provoqué l'apparition d'une couche d'algues sur le substrat et la tuyau de PVC ainsi que sur le vitrage. Le nettoyage du vitrage a été réalisé quelques fois au cours des observations mais sa durée était courte.

2.2.2 Protocole expérimental

Les poissons utilisés sont des saumons atlantiques (*Salmo salar* L.) qui ont été capturés dans la Samson, un ruisseau salmonicole du bassin de la Meuse (province de Namur). Les saumons de souche bretonne, font l'objet d'une campagne de réintroduction qui a commencée en 1989. Ils sont déversés toutes les années au mois de juin (Vassen, 1998).

17 saumons ont été pêchés le 4 mars par pêche électrique, il y a 9 saumons 0+ et 8 saumons 1+, avant d'être introduits dans la rivière artificielle ils ont été endormis avec Phenoxy éthanol dilué dans l'eau et des mesures individuelles de poids, de longueur totale et de longueur à la fourche ont été réalisées. Les données des poissons introduits dans la rivière artificielle se trouvent au tableau 2.2.

Chaque saumon est nommé par une lettre, soit T ou S qui signifie tacons (T) smolts (S), et un numéro de 1 à 7 pour les tacons et de 1 à 8 pour les smolts.

Avant de commencer le protocole expérimental les saumons sont restés dans la rivière quelques jours pour s'habituer aux nouvelles conditions de température et de vitesse de courant, pour connaître tout le territoire de leur nouvel habitat et pour l'observateur, apprendre à les reconnaître de manière individuelle.

La réalisation des dessins des flancs individuels (figure 2.4) des saumons qui permettent de différencier entre eux a nécessité beaucoup d'heures d'observation. C'est grâce

aux marques et tâches noires qui ont une forte variation individuelle que l'identification a été possible.

C'est le 29 mars que les observations ont commencé avec 15 saumons. Le période d'observation a duré 30 jours. Le protocole expérimental est divisé en trois expériences successives :

Pendant les périodes de repos et d'alimentation la position de chaque saumon est noté ainsi que les interactions qui se manifestent entre eux:

- la position longitudinale de chaque poisson est lue grâce à la graduation réalisée sur le vitrage tous les 5 cm,
- la position en largeur de chaque poisson était estimée par l'observateur,
- l'orientation du poisson par rapport au courant,
- les interactions entre les poissons : poisson agresseur et poisson agressé sont différenciés,
- la température de l'eau.

Les interactions suivantes ont été notées :

- approche,
- approche avec fuite de la victime,
- morsure,
- poursuite,
- parade latérale,
- parade frontale.

Quelques interactions comme la parade frontale et latérale n'ont été presque jamais observées, soit parce qu'elles n'ont pas eu lieu ou bien parce que l'observateur ne les a pas différenciées.

Dans la rivière artificielle il y a trois fosses, celle en aval sera nommée la fosse 1, la fosse centrale sera la fosse 2 et la fosse à côté de l'amont sera la fosse 3.

L'établissement d'une possible dominance de quelques saumons sur les autres, et tout ce qu'on peut observer de son comportement en général sera aussi noté. Des mesures de la température sont effectuées tous les jours.

Après le 7 mai les saumons ont été libérés dans la rivière d'origine, le Samson.

3. RÉSULTATS

3.1 Milieu d'étude naturel

3.1.1 Données des pêches électriques

Le Samson n'est pas une rivière très large. Pour estimer la surface totale des secteurs pêchés, 5 mesures différentes de largeur ainsi qu'une mesure de longueur totale ont été réalisées. (Annexe 1).

En utilisant les formules décrites ci-dessus pour calculer la densité de la population des saumons présents dans le Samson, on obtient les suivants résultats:

- la surface des deux secteurs n'est pas très différente : 768,6 m² le secteur Goyette et 807 m² le secteur Amont gué.
- dans le secteur Goyette, la densité estimée des saumons est beaucoup plus grande que celle du secteur Amont gué, avec des valeurs de 18,58 individus/100 m² (143 individus estimés) et 5,08 individus/100 m² (41 individus estimés) respectivement.

3.1.2 Taille des poissons

La taille des poissons de la même espèce dans une rivière est très diverse. Dans les cas des saumons il est très important connaître la taille pour différencier les différentes classes d'âge présentes dans la rivière. (Annexe 2.1).

Les tailles des poissons capturés (figure 3.1) sont comprises entre 54 et 184 mm, avec une plus forte abondance pour ceux qui ont une taille comprise entre 60 et 89 mm. La taille moyenne des 0+ est de 72 mm et celle des 1+ est de 130 mm.

La séparation des 0+ et 1+ en fonction de la taille est claire, il existe une forte abondance des 0+ compris entre 50 et 99 mm. La plus forte abondance des 1+ est comprise entre 100 et 159 mm. Les saumons avec des tailles supérieures à 160 mm sont presque absents et ils représentent les smolts qui n'ont pas encore migré vers la mer.

3.1.3 Analyse de l'habitat des poissons

3.1.3.a. Répartition en fonction du substrat

La répartition des saumons en fonction du substrat est réalisée selon l'échelle modifiée de Wentworth (1985) ou l'on a introduit une valeur supplémentaire à savoir le substrat « Racine ».

La plupart des saumons choisissent les types de substrat 4 et 5 selon l'échelle modifiée, ce qui correspond avec le substrat type galets (4) et cailloux (5). Dans les substrats du type racine, 1, 2 et 3 sa présence est minime. (Annexe 2.1).

Si on fait la séparation entre les 0+ et 1+ (Figure 3.2) aucune différence entre les deux classes d'âge n'est observée quant à la répartition en fonction du substrat. La présence des saumons dans les types de substrat racine, 1, 2 et 3 est presque inexistante ainsi que dans le type 6 car il a été peu observé sur les secteurs pêchés. (Annexe 3.1).

3.1.3.b. Répartition en fonction de la profondeur

La répartition des saumons en fonction de la profondeur a été examinée par intervalles de 5 cm. Le valeur maximale observée est de 70 cm.

C'est dans des profondeurs comprises entre 0 et 25 cm que se trouvent la plupart des saumons, avec le maximum entre 6 et 10 cm. Une fois que la profondeur est plus importante que 45 cm, la présence des poissons dévient très faible. (Annexe 2.3).

Si on fait la séparation entre les 0+ et 1+ (Figure 3.3) le panel d'utilisation de la profondeur des 1+ est plus grand que celle des 0+. Pour les 1+ il est compris entre 5 et 35 cm et ils ont une répartition plus ou moins homogène, avec leur maximum à 21- 25 cm mais il n'est pas très différencié d'autres profondeurs; les 0+ qui ont leur maximum très différencié à 5- 10 cm puis la courbe d'utilisation décroît jusqu'aux 25 cm, une fois dépassé cette profondeur, leur présence sera minime. (Annexe 3.2).

3.1.3.c. Répartition en fonction de la distance à la berge

Les mesures par intervalles de 20 cm ont été faites. Le Samson n'est pas une rivière très large, le maximum de distance à la berge qui a été mesuré est de 370 cm. La largeur moyenne des secteurs pêchés est de 5,43 m.

La plupart des saumons (Figure 3.4) se trouvent à une distance de 41 à 240 cm de la berge avec un maximum compris entre 61 et 160 cm. Sa distribution ne présente pas des différences claires de préférence d'habitat. La courbe de distance à la berge présente des valeurs maximum de 60 à 240 cm pour les 0+. Les 1+ préfèrent des habitats distants de 100 à 260 cm. À des distances supérieures à 240 cm la fréquence des saumons pêchés est minime. (Annexe 2.4).

La courbe d'utilisation d'habitat en fonction de la distance à la berge ne présente pas des différences significatives entre les 0+ et les 1+. Il y en a une alternance d'habitats utilisés pour les deux classes d'âges différentes qui ne représentent pas des préférences pour des habitats déterminés. (Annexe 3.3).

3.1.3.d. Répartition en fonction de la vitesse de courant

Pour étudier la répartition des saumons en fonction de la vitesse de courant, les mesures ont été regroupées en intervalles de 0,1 m/sec, neuf groupes.

De manière générale, la plupart des saumons (Figure 3.5) se trouvent entre les intervalles de vitesse de courant de 0,1 et 0,4 m/sec. Leur répartition augmente de 0 jusqu'à 0,2 à 0,3 m/sec puis décroît selon l'augmentation de la vitesse de courant. Une fois dépassés les 0,7 m/sec sa présence est minime. (Voir l'annexe 2.5).

L'abondance des 0+ est plus grande que celle des 1+. Les deux classes d'âge ont un maximum d'abondance à une vitesse de 0,2 à 0,3 m/sec.

Entre 0 et 0,4 m/sec, les 1+ ont une répartition plus ou moins homogène à la différence des 0+ qui montrent un pic très clair ce qui permet d'établir leur préférence d'habitat à une vitesse de courant entre 0,1 et 0,3 m/sec. La préférence d'habitat pour les 1+ présente une gamme plus large comprise surtout entre 0 et 0,5 m/sec ce qui leur permet de coloniser plusieurs zones tout au long de la rivière. (Annexe 3.4).

3.2 Milieu d'étude artificiel contrôlé

3.2.1 Introduction

La température est un facteur important qui doit être pris en compte. Une défaillance du système de régulation de la température a provoqué à plusieurs reprises d'importantes variations de température susceptible de provoquer un stress thermique. De plus ce système ne suffisait pas à contrecarrer les variations de température externes.

La variation de la température au cours des expériences dans la rivière artificielle (Figure 3.6) a été comprise entre 11,5 et 24 °C. C'est dans la première expérience qu'il y a eu les variations les plus fortes de 21 °C pour le maximum (8^{ème} jour) à un minimum de 11,5 °C le 9^{ème} jour. Dans les expériences 2 et 3 les valeurs de température sont restées constantes mais assez élevées. (Annexe 4.1).

3.2.2 Interactions entre les saumons

Certains individus montrent une agressivité plus importante par rapport aux autres. Une différenciation a été réalisée parmi les interactions en période de repos et de nourrissage. Nous ne suivons pas les expériences par ordre chronologique par soucis de logique : 1) les 1+ seuls, 2) les 0+ seuls et 3) en cohabitation.

Les 1+ seuls

La dernière expérience a commencé le 27 avril avec les 1+.

Comme dans les autres expériences il y a eu aussi des problèmes avec la température et quelques smolts, le 5, le 8 et le 7 n'ont pas résisté aux hausses de température. Avant de mourir ils ont présenté des caractéristiques communes comme: 1) coloration un peu jaune et 2) la mousse.

Les 1+ présentent (Figure 3.7) un nombre d'interactions élevées. Ce sont les smolts S1 qui a dominé dans la fosse 2 et S6 qui a dominé dans la fosse 3 qui ont réalisé clairement la plupart des agressions dirigées surtout vers ceux qui étaient les plus faibles.

Quand l'expérience 3 a commencé, S7 était très faible et il a reçu la plupart des attaques qui étaient beaucoup plus fortes parce qu'il n'avait pas la force d'aller dans le courant pour essayer d'échapper. (Annexe 4.6).

Les 0+ seuls

C'est le 13 avril que l'expérience a commencé avec les 0+ seuls. Quelques jours d'adaptation ont été laissés aux 0+ afin qu'ils s'adaptent à leur nouvelles conditions. A partir du 5 mars, le tacon 7 n'est plus apparu dans la rivière, par conséquent on le considère comme mort.

Lors de la première expérience en cohabitation, les 0+ sont restés cachés. Pendant l'expérience où ils étaient seuls, ils sont restés visibles.

Des six tacons présents (Figure 3.8), il n'y a eu que deux agressifs : T5 et T6. 91 % des attaques commises par T5 sont dirigés vers T4 qui était le tacon présentant la taille la plus petite et qui est resté toujours caché dans le décor.

T6 est le tacon le plus agressif de tous, il a exercé sa dominance surtout dans la fosse 2, il a attaqué au moins une fois tous les autres. La majorité des agressions réalisées par les 0+ ont été commises pendant les périodes de nourrissage (68,6 %). T1 est resté seul dans la fosse 1 pendant toute l'expérience et toujours dans la même position, en période de nourrissage il faisait face au courant. (Annexe 4.5).

En cohabitation

Le 29 mars les saumons 0+ et 1+ ont été introduits en cohabitation dans cette première expérience. Après quelques jours d'adaptation aux nouvelles conditions d'habitat, les observations ont pu commencer. Pendant les premiers jours d'adaptation, il n'y avait presque pas de mouvements, les 1+ restaient en bancs dans des zones à faible courant, et les 0+ sont restés presque tout le temps cachés, surtout pendant les périodes de repos et lorsque les lampes étaient allumées.

C'est à partir du quatrième jour d'observation (Figure 3.9) que les interactions ont commencé à être plus intenses. Certains individus montrent une agressivité plus importante par rapport aux autres. Une différenciation a été réalisée parmi les interactions en période de repos et de nourriture, mais on n'observe pas de différence nette.

La plupart des interactions ont été observées dans les groupes 1+ et rarement chez les 0+, sans doute parce qu'ils ont été presque tout le temps cachés ou immobiles sur le substrat sans se bouger. C'est S1 qui réalise clairement la plupart des attaques sur les autres. Entre les 0+, il n'y a eu des attaques que de T5 vers T6 et de T3 vers T4.

Les observations pendant la période de repos ont été réalisées une demi-heure avant la période de nourrissage, afin de bien observer les poissons sur leur poste habituel.

En repos (Figure 3.10), toutes les interactions sont commises par les 1+. Les interactions notées en repos sont beaucoup moins nombreuses que celles notées pendant les périodes de nourrissage, ce qui démontre la forte compétition qui existe pour l'aliment. C'est toujours S1 qui réalise la majorité des agressions, S4 est très agressif également et il commit toutes les interactions pendant cette période de repos.

Les observations pendant le nourrissage (Figure 3.11) ont été réalisées juste après la période de repos. La durée de celle-ci était d'une demi-heure.

C'est pendant cette période que les saumons étaient les plus agressifs et que la plupart des interactions ont été commises (65,9 %).

Les seules interactions qu'ont réalisées les 0+ ont été faites en nourrissage ce qui vérifie la forte compétition qu'il y a entre eux pour l'aliment.

C'est S1 qui montre le nombre d'attaques le plus élevé (en période de repos et de nourrissage), il domine clairement dans la fosse 2, mais les 96 % de ses attaques sont dirigés vers les autres 1+ et pas vers les 0+ qui peuvent se déplacer librement dans cette fosse là.

Après quelques jours d'observations il a été observé que les poissons avaient des postes plus ou moins fixes et dans chaque fosse il y avait un individu qui dominait les autres.

Dans la fosse 1, S7 a dominé pendant presque toute l'expérience, dans la fosse 2 c'était S1 et dans la fosse 3, S6. La dominance était exprimée continuellement par des attaques aux autres poissons qui restaient d'habitude dans les fosses ou aux autres poissons qui essayaient de rentrer dans une autre fosse.

Dans la fosse 2, tous les 1+ restaient en banc sous la surveillance de S1, quand n'importe quel poisson essayait de dépasser la graduation de 220 cm, ils étaient attaqués avec pour conséquence de retourner à leur position initiale ou d'aller dans la fosse 3 où S6 exerçait sa dominance. Quand la dominance de S1 était très forte, les autres 1+ sont partis vers la fosse 3 mais ils ont dû rester entre les graduations qui correspondent à 350 et 400 cm pour ne pas recevoir les attaques de S6.

Pendant toute l'expérience en cohabitation, T2 est resté sous une pierre située dans la fosse 2. D'habitude il ne sortait que pour se nourrir mais retournait vite au même endroit pour se cacher. A la différence de l'expérience en cohabitation, dans l'expérience avec les 0+ seuls, il s'est déplacé librement à plusieurs reprises bien qu'il soit attaqué par T6. (Annexe 4.2).

Au cours des expériences il a été observé que les 1+ étaient les plus agressifs (Figure 3.12), une différence a été faite entre les interactions commises par eux pendant l'expérience en cohabitation et dans l'autre où ils sont restés seuls.

De toutes les interactions observées, la plupart sont commises dans les périodes de nourrissage et non dans les périodes de repos. Dans chacune des trois fosses il y avait un 1+ qui dominait, mais de tous les 1+ c'était S1 (qui restait dans la fosse 2) qui a dominé les autres. Il est possible d'établir une hiérarchie des saumons en relation avec leurs interactions.

Dans l'expérience en cohabitation ce sont les 1+ qui ont réalisé presque toutes les interactions et la plupart d'entre elles ont été dirigées vers les autres 1+ et pas sur les 0+. En fait, le nombre d'interactions commises par les 1+ entre eux sont beaucoup plus nombreuses au cours des dix jours dans l'expérience en cohabitation que dans l'expérience où ils sont seuls.

Dans l'expérience en cohabitation les valeurs de la température ont été entre 11,5 et 21,5 °C et dans l'expérience avec les 1+ seuls entre 21 et 24 °C, les hautes températures réduisent l'activité des saumons.

3.2.3 Rythme d'activité journalière

Au cours des expériences il a été observé une relation entre le nombre d'interactions et les heures auxquelles elles étaient faites. Ceci a permis d'établir un rythme journalier des poissons les plus représentatifs car tous n'ont pas commis d'interactions pendant toutes les heures d'observation.

Les 1+ seuls

Pour les smolts 1 et 6 il a été possible d'établir leur rythme grâce au grand nombre d'interactions qu'ils ont réalisés. Les courbes (Figure 3.13) qui représentent le rythme journalier sont presque identiques. A 9 heures du matin le nombre d'interactions des deux smolts n'est pas très élevés (15 et 4 interactions pour les S1 et S6 respectivement), après il monte jusqu'à 11 heures où le maximum d'activité (39 et 47 interactions) est observé et une fois dépassée cette heure là, il décroît au fur et à mesure qu'avance la journée.

Les 0+ seuls

On remarque ici nettement (Figure 3.14) un déplacement de l'activité de T6 vers 13 :00 par rapport aux autres expériences.

En cohabitation

Dans cette expérience seulement les 1+ ont montré leur activité parce que les 0+ sont restés presque tout le temps cachés.

De manière générale, les interactions augmentent de 9 heures du matin jusqu'à leur maximum à 11:00 heures. Après ça, elles décroissent au fur et à mesure qu'avance la journée. S7 fait exception car à 17 heures il est le seul à avoir une activité élevée. S4 montre aussi son activité la plus élevée à 15 heures.

Pour les 0+ le nombre d'interactions notées sont minimales mais celles qui ont été réalisées par T5 ont eu lieu à 11 heures qui est l'heure du maximum d'activité des 1+ également.

Comme le montre la figure 3.15, au fur et à mesure qu'avance la journée les interactions sont plus nombreuses avec un maximum d'activité à 11 heures du matin. Une fois passée le maximum elle décroît de manière progressive et à 17 heures les interactions sont très réduites. (Annexe 4.3).

Les observations ont commencé à 9 heures du matin (Figure 3.16) et au fur et à mesure qu'avancait la journée les interactions étaient plus fréquentes pour le S1. C'est en général à 11 heures que le maximum d'activité était observé, passé ce maximum les interactions décroissent progressivement sauf pour T6, dans l'expérience avec les 0+ seuls, qui a déplacé son maximum d'activité à 13 heures.

3.2.4 Types des interactions

De tous les types d'interactions suivies il y en a eu sont plus fréquentes que d'autres et certaines qui n'ont pas été observées.

La différence de pourcentage entre les différents types d'agressions décrites (Figure 3.17) nous montrent les types les plus utilisés et qui sont différents selon que les saumons sont en cohabitation ou seuls.

Les 1+ seuls

30% des interactions produites sont des morsures, 24 % étaient les poursuites et le 23% les approches avec fuite et les approches.

Les différents types d'interactions ont des pourcentages très similaires. Comme dans l'expérience en cohabitation, les attaques les plus fréquentes ont été les morsures et comme dans les autres, les parades frontale et latérale n'ont pas été observées. (Annexe 4.4).

Les 0+ seuls

De tous les types d'interactions qu'il y a eu pendant cette expérience (Figure 3.18), ce sont les approches avec fuite les plus nombreuses avec 41 %, suivi de la poursuite avec 26 % et de l'approche avec 22 %. Les morsures ne représentaient que 10 % des interactions observées.

De nouveau la parade frontale n'a pas été observée et la parade latérale est présente avec un pourcentage minime (1 %). Comme déjà commenté, ce sont les tacons 5 et 6 qui ont effectué la plupart des agressions. (Annexe 4.4).

En cohabitation

Les morsures représentent 38 % des interactions observées (Figure 3.19), 25 % sont des approches simples et 22 % sont des poursuites. Ce sont les smolts dominants S1 et S7 qui ont fait la plupart des attaques. S4 qui n'a pas dominé est un des plus agressifs. La parade frontale n'a jamais été observée pendant cette expérience et la parade latérale représente un pourcentage très faible de 2 %. (Annexe 4.4).

De toutes les interactions observées dans les expériences, les morsures ont été les plus fréquentes dans les expériences où étaient les 1+ (38 et 30 % pour les expériences en cohabitation et avec les 1+ seuls respectivement). Les 0+ sont beaucoup moins agressifs que les 1+. Les interactions les plus nombreuses qu'ils réalisent sont les approches avec fuite (41 %) et pas les morsures (10 %) comme dans l'expérience en cohabitation. Ils réalisent des interactions sans contact direct.

3.2.5 Température et interactions

Comme le saumon est un poisson poïkilotherme, la température joue un rôle très important sur sa physiologie et son comportement.

Les 1+ seuls

Les valeurs de température dans cette expérience (Figure 3.20) ont été les plus élevées (l'appareil de régulation était défaillant et la température extérieure augmentait). La température est presque arrivée à 25 °C où commence théoriquement le stress thermique de l'espèce.

Les valeurs ont été comprises entre 21,5 et 24 °C qui sont des valeurs très élevées. Durant les quatre premiers jours de l'expérience, la température n'a pas subi de grandes variations et le nombre d'interactions a été plus ou moins constant. Après le 5^{ème} jour la température décroît et le nombre d'interactions augmente fortement. Le 8^{ème} et le 9^{ème} jour, la température a eu des valeurs de 21,5 à 22 °C mais le nombre d'interactions est resté très faible.

Les 0+ seuls

Les valeurs de température pendant cette expérience (Figure 3.21) ont été plus élevées que dans la première mais elles n'ont pas présentées de variations fortes. Toutefois les valeurs sont restées très élevées avec une moyenne de 22,9 °C.

Dans cette expérience les variations de température ont été comprises entre 18,5 et 22 °C. Il y a aussi une relation claire entre la température et le nombre d'interactions et comme lors de la première expérience. Au fur et à mesure qu'augmente la température, il y a une réduction nette du nombre d'interactions. Ce sont le 1^{er} et le 2^{ème} jour, le 8^{ème} et le 9^{ème} qu'il y a eu le plus grand nombre d'interactions.

En cohabitation

Si l'on se réfère à la figure 3.22, la température au cours de cette première expérience a eu des variations comprises entre 11,5 et 21,5 °C. Les deux premiers jours la température a été constante mais après elle a commencé à augmenter suite à des problèmes de l'appareil de réfrigération jusqu'à arriver à une valeur de 21,5 °C. Une fois qu'il a été réparé, la température a diminué de manière assez brusque.

A part les trois premiers jours d'expérience, il y a une relation claire entre la température et le nombre d'interactions. Si la température augmente il y a une diminution d'interactions, on arrive en stress thermique. A partir du quatrième jour on observe une augmentation de la température qui est accompagné par une diminution d'interactions. Le neuvième jour de l'expérience une diminution très forte est notée ce qui a entraîné une augmentation d'interactions.

La relation entre la température et les interactions est claire et positivement corrélé dans les limites de températures observées.

La relation entre les interactions et la température a été vérifiée au cours des trois expériences avec une nette diminution du nombre d'interactions au fur et à mesure qu'augmentait la température. La relation entre la température et les interactions a été vérifiée lors des trois expériences.

Une diminution des interactions était corrélée à l'augmentation de la température. Des relations entre les expériences de cohabitation et l'expérience de maintenance des 1+ seuls ne peuvent être faites car lors de cette dernière, les températures atteignent des valeurs critiques où le comportement était inhibé.

3.2.6 Autres observations

Au cours de cette expérience il a été observé que chaque poisson avait un place plus ou moins fixe où il restait la plupart du temps. Un jour il a été observé à 15:00 heures que le poisson T1 s'était déplacé de la zone où il restait d'habitude. L'explication était qu'un autre poisson avait été introduit dans la rivière artificielle, (un chabot *Cottus gobio* L.). Une fois que le chabot a été enlevé, le tacon 1 est retourné à son poste dans la fosse 1.

4. INTERPRÉTATIONS DES RÉSULTATS

Pendant les observations, il a été noté la position de tous les poissons en repos et en nourrissage. A partir de la cartographie du substrat et de la position des poissons on a pu déterminer l'habitat des poissons quant aux valeurs de profondeur et de courant.

La densité des saumons dans les deux milieux à comparer n'est pas la même et elle est beaucoup plus faible en rivière naturelle où il y a 0,10 saumons par m^2 par rapport à la rivière artificielle où il y a 6,19 saumons par m^2 .

4.1 Effet de la profondeur sur la répartition

Les intervalles pour établir la répartition en fonction de la profondeur dans la rivière artificielle ont été faits tous 4 cm. En rivière artificielle les valeurs mesurées de la profondeur sont de 0 à 40 cm et en rivière naturelle de 0 à 70 cm.

4.1.1 En milieu artificiel

Les 1+ seuls

Pour les 1+ dans la troisième expérience (Figure 4.1), il n'y a pas de différence entre les courbes d'utilisation d'habitat en périodes de repos et de nourrissage. Il y a deux pics très clairs dans les profondeurs de 20 à 24 cm et de 32 à 36 cm. Dans les profondeurs comprises entre 0 et 19,9 cm, la présence des 1+ est minime.

Les 0+ seuls

Les courbes qui représentent l'utilisation d'habitat en fonction de la profondeur pour les 0+ (Figure 4.2) en repos et en nourrissage sont très semblables.

Les pics de fréquence d'observation les plus élevés présentent les mêmes profondeurs (de 20 à 24 cm) mais la fréquence est plus grande pour le période de repos. En période de nourrissage l'intervalle entre 20 à 36 cm a les fréquences d'observation les plus grandes.

En cohabitation

Au cours de cette expérience, la fréquence d'observation des 0+ a été beaucoup plus faible que celle des 1+.

En nourrissage (Figure 4.3), les 0+ utilisent prioritairement des habitats d'une profondeur de 16 à 36 cm, et les 1+ de 12 à 36 cm avec une préférence claire de 32 à 36 cm.

En repos, la courbe de fréquence d'observations des 0+ est très claire, la plupart utilisent un intervalle de profondeur de 12 à 36 cm contrairement aux 1+ dont la plupart se disposent dans un intervalle de 20 à 36 cm. Les poissons des deux classes d'âge n'utilisent quasiment pas les profondeurs de moins de 16 cm.

En général, pour les 0+ et les 1+ il n'y a pas de différence pendant les périodes de repos et de nourrissage en fonction de la profondeur et les courbes se superposent dans toutes les observations.

Nous allons maintenant nous pencher sur la variable profondeur au cours des expériences.

Dans l'expérience en cohabitation (Figure 4.4) les 1+ utilisent en générale des habitats plus profonds. La plupart d'entre eux se trouvent à une profondeur de 28 à 36 cm qui est la profondeur à laquelle il n'y a presque pas de 0+ et s'il y en avait, ils étaient cachés sous les cailloux. Dans les autres profondeurs les 0+ et 1+ sont présents avec la même fréquence d'observation. Le panel d'utilisation de la profondeur pour les 1+ est plus grand que celui des 0+.

Comme il n'y a pas de différence d'utilisation de la profondeur en fonction des périodes de repos ou de nourrissage, les deux figures 3.27 et 3.28 représentent la répartition générale des deux classes d'âge dans les deux expériences : en cohabitation et seuls.

La fréquence d'observation des 0+ (Figure 4.5) dans l'expérience où ils sont restés seuls est beaucoup plus grande que pendant l'expérience en cohabitation. En cohabitation, on avait une courbe avec un maximum à une profondeur de 20 à 24 cm, ensuite la courbe décroît mais sa fréquence sera toujours inférieure à 0,1. La gamme de profondeur la plus utilisée s'étend de 16 à 28 cm. Dans l'expérience avec les 0+ seuls, la courbe présente des fréquences d'observations plus élevées. Les 0+ sont présents dans toutes les profondeurs inférieures à 36 cm. La plupart sont situés à des profondeurs de 20 à 36 cm. Quand ils restent seuls, les 0+ sont présents dans la plupart des profondeurs.

Au niveau des 1+, on observe en cohabitation (Figure 4.6), une courbe de fréquence d'observation qui augmente au fur et à mesure qu'augmente la profondeur. Il y a un petit pic à 20 cm et le maximum entre 28 et 36 cm. Dans les deux expériences à une profondeur de plus de 36 cm ils ne sont pas présents. Quand ils restent seuls, la ligne a deux pics de maxima à 20 et 32 cm, la ligne augmente et décroît tout le temps. En général les profondeurs les plus utilisées pour les 1+ sont de 16 à 36 cm.

Il est clair que les 1+ utilisent des habitats avec une profondeur plus grande que les 0+. Quand les 0+ sont seuls ils ont utilisés un panel plus large de profondeurs.

4.1.2 Comparaisons en milieu artificiel et milieu naturel

En rivière naturelle les profondeurs utilisés ne dépassent jamais 35 cm qui est la profondeur maximale également observée en rivière artificielle.

Pour les 0+ (Figure 4.7), en rivière artificielle, les valeurs de profondeur maximale sont de 6 à 30 cm avec un maximum de 16 à 20 cm. Dans la rivière naturelle les habitats plus fréquents pour les 0+ ont des valeurs de 0 à 25 cm avec un maximum de 6 à 10 cm.

En rivière naturelle la plupart des 0+ utilisent des habitats avec une profondeur plus faible par rapport à la rivière artificielle. En effet, le maximum de densité se retrouve dans les intervalles de 0-5 à 6-10.

En rivière naturelle les 1+ (Figure 4.8) ont une répartition plus ou moins homogène comprise entre 0 et 35 cm alors qu'en rivière artificielle ils sont plus fréquemment dans l'intervalle de 16 à 20 cm.

Comme les 0+, en rivière artificielle les 1+ vont utiliser des habitats plus profondes qu'en rivière naturelle.

En rivière naturelle il y aura une plus forte compétition entre les 0+ et les 1+ pour les habitats de plus faible profondeur, ce qui sera un désavantage pour les 0+ qui utilisent des profondeurs plus faibles que les 1+.

D'un point de vue compétitif, on observe en rivière artificielle un chevauchement de l'utilisation des profondeurs chez les différentes classes d'âges qui se traduit par une dominance nette des 1+ dans ces zones.

Afin de déterminer si les poissons dominants utilisent une meilleure position (minimisant ses dépenses énergétiques) que les dominés, on peut se pencher sur l'utilisation des habitats par ces deux types de poissons dans les deux classes d'âge.

Les figures 4.8 a et 4.8 b nous montrent une utilisation différente de l'espace avec un net avantage pour le dominant 1+ (profondeur plus importante et vitesse de courant parfaitement nulle dans ce cas). Le poisson 0+ est relegué à une position moins intéressante mais chevauchant pour les profondeurs, l'utilisation de l'espace du dominant. C'est d'ailleurs à ces moments de promiscuité que les attaques ont lieu.

En rivière naturelle, on observe une utilisation de l'habitat en fonction de la profondeur également très proche chez les deux classes d'âge. On peut donc supposer qu'une compétition existe également en milieu naturel.

4.2 Effet de la vitesse sur la répartition

Une répartition des poissons en fonction de la vitesse de courant a également été entreprise. Une différenciation entre les périodes de nourrissage et repos a également été fait.

4.2.1. En milieu artificiel

Les 1+ seuls

Les profondeurs d'utilisation de l'habitat en fonction de la vitesse de courant dans cette expérience sont semblables à celles décrites dans l'expérience avec les 0+ seuls et elles sont aussi très similaires entre les périodes de repos et de nourrissage.

Les fréquences d'observation les plus grandes (Figure 4.9) correspondent aux intervalles de vitesse de courant les plus bas compris de 0 à 0,4 m/sec et au fur et à mesure que la vitesse de courant augmente la fréquence d'observation décroît. À partir d'une vitesse de courant de 0,6 m/sec la fréquence d'observation est 0 pour les deux périodes d'observation.

Les 0+ seuls

Les courbes en repos et en nourrissage pour les 0+ dans l'expérience 2 en fonction de la vitesse de courant sont très similaires.

Les fréquences d'observations les plus grandes (Figure 4.10) se retrouvent dans les vitesses de courant les plus basses, surtout entre 0 et 0,29 m/sec. Après elles décroissent sans arriver à une fréquence d'observation de 0.

En cohabitation

Au cours de cette expérience (Figure 4.11), la fréquence d'observation des 0+ a été beaucoup plus faible que celle des 1+.

Pendant les périodes de nourrissage, la fréquence maximale d'observation des 0+ se trouve entre 0 et 0,1 m/sec, la courbe décroît après cet intervalle sauf un petit pic à 0,5 et 0,6 m/sec. Pour les 1+ c'est de 0 à 0,3 m/sec qu'ils sont les plus fréquents avec un pic de 0,1 et 0,2 m/sec. L'intervalle d'utilisation de la vitesse de courant apparaît plus grand pour les 1+.

En repos, la courbe des 0+ est très semblable à celle des 1+ mais avec une fréquence plus faible d'observation sauf de 0,5 à 0,6 m/sec où la fréquence des 0+ est plus grande.

La fréquence d'observation la plus élevée se trouve entre 0 à 0,1 m/sec, après elle décroît au fur et à mesure qu'augmente la vitesse du courant avec deux petits pics à 0,3 et 0,5 m/sec.

Pour les 1+ le pic de fréquence maximale se trouve à 0,1 m/sec et après le nombre d'interactions décroît de la même manière que celle des 0+. En général, pour les deux classes d'âge quand augmente la vitesse du courant la fréquence d'observation diminue.

Les fréquences d'observation maximales par rapport à la vitesse de courant utilisée par les 0+ et les 1+ tant en période de repos qu'en nourrissage ne dépassent jamais les 0,2 m/s. Il n'y a pas de différence d'utilisation des habitats en fonction de la vitesse de courant durant les deux expériences.

Sans faire de différenciation entre les périodes de repos et de nourrissage, les figures 4.12 et 4.13 ont été faites pour comparer les habitats utilisés pour les 0+ et 1+ dans les expériences où ils ont été présents.

La vitesse du courant utilisée par les 0+ au cours des deux expériences (Figure 4.12) est presque la même, à part pour l'expérience où ils étaient seuls où la fréquence d'observation est plus grande pour les vitesses les plus basses. Les courbes des deux expériences présentent les maximums de fréquences aux vitesses de 0 à 0,2 m/sec. Ensuite, elles décroissent au fur et à mesure qu'augmente la vitesse du courant.

Les 1+ (Figure 4.13), dans les deux expériences ont utilisé les vitesses du courant les plus faibles comprises entre 0 et 0,2 m/sec. Ensuite, les courbes d'utilisation décroissent au fur et à mesure qu'augmente la vitesse de courant.

4.2.2. Comparaisons en milieu naturel et artificiel

Vu la forte densité en rivière artificielle, la compétition sera beaucoup plus élevée pour les postes les plus appropriés pour les différentes classes d'âge.

En rivière artificielle (Figure 4.14) la vitesse de courant utilisée par les 0+ est très proche de 0. On a 0,34 de fréquence cumulée dans l'intervalle 0 à 0,2 m/s alors qu'en milieu naturel elle se situe dans l'intervalle de vitesse de 0,2 à 0,3 m/s. Ceci peut être expliqué par le fait que les densités de population sont plus élevées et de ce fait, la compétition est plus importante. Les 0+ ont donc choisis des postes (cachettes) sous des pierres où les vitesses de courant sont nulles.

Or, comme vu précédemment, même lorsque les 0+ ne subissent pas la compétition des 1+, ils choisissent des habitats équivalents quant à la vitesse de courant. La seule explication valable est que les hautes températures observées ont agité négativement sur le comportement des saumons.

Au niveau des 1+ (Figure 4.15) la tendance à occuper des habitats présentant une vitesse faible est également observée.

En milieu naturel, ils utilisent préférentiellement une vitesse de courant comprise entre 0,1 et 0,5 m/s.

En milieu artificiel par contre, la majorité des observations ont été réalisées dans l'intervalle de 0 à 0,3 m/s. Dans ce cas-ci, l'effet cohabitation n'entre pas en jeu comme précédemment.

D'une manière générale, on remarque qu'en rivière artificielle la quelle que soit la classe d'âge, l'habitat en fonction de la vitesse de courant et de la profondeur est différent de ce qui a été observé en milieu naturel.

Cependant, que ce soit en milieu naturel ou artificiel, les habitats se chevauchent exactement de la même manière. Les observations faites en rivière artificielle peuvent donc être transposées au milieu naturel en prenant les précautions suivantes:

- la densité est différente,
- ils était impossible de déterminer la position par rapport au substrat des poissons pêchés en rivière,
- l'effet de compétition des truites sur les saumons n'est pas pris en compte.

4.3 Discussion générale, conclusions et perspectives

D'une manière générale, différents points apparaissent tant en milieu naturel qu'en milieu artificiel.

Les résultats obtenus nous montrent donc qu'en rivière artificielle, on ne trouve pas de différences nettes d'utilisation des habitats entre les périodes de nourrissage et les périodes de repos tant pour les 0+ que pour les 1+. Par contre on observe une différence flagrante du nombre d'interactions durant ces deux périodes avec une augmentation des affrontements durant le nourrissage. La compétition pour la nourriture disponible apparaît donc clairement.

Au niveau des interactions, ce sont les 1+ qui montrent le plus d'interactions agressives mais généralement celles-ci sont dirigées vers leurs congénères de même âge, ceux-ci étant vraisemblablement moins « impressionnés » par l'attaque. Ces interactions soutenues pourraient expliquer les densités moins élevées de 1+ en milieu naturel. Une émigration pourrait en résulter afin de réduire la territorialité des plus agressifs, ce phénomène se superposant à la limite des capacités énergétiques du milieu. Il était intéressant d'observer que cette répartition homogène des poissons a résulté par la mise en place d'une dominance dans chaque fosse et ce malgré le caractère grégaire des smolts durant cette période particulière de leur cycle de vie. Les 0+ quant à eux, montrent un comportement dominé très net pendant les expériences de cohabitation et restent cachés afin d'éviter les affrontements.

Du fait de la difficulté que nous avons rencontrée à réguler la température, les différents problèmes de température nous ont permis d'observer des variations du nombre d'interactions qui semblent être inhibées par les hautes températures. Il est donc quasiment impossible de déterminer si les interactions étaient plus ou moins importantes entre les expériences de cohabitation (surtout pour les 1+).

En ce qui concerne les rythmes d'activité au cours d'une journée, les pics d'activité apparaissent à différents moments de la journée selon les classes d'âges ce qui pourrait présupposer d'une répartition différentielle de la niche écologique sur ce point. Néanmoins, il n'apparaît qu'une différence de 2 heures entre les deux maxima.

Les proportions des types d'interactions varient en fonction de l'expérience. Globalement, les interactions commises par les 1+ sont de type plus agressives (morsures) que chez les 0+.

Il semble évident que les densités mises en charge dans la rivière artificielle (6,2 saumons / m²) sont nettement différentes de celles observées lors des pêches en milieu naturel (0,1 saumons / m²). Ce biais nous laisse supposer une exagération des affrontements.

En ce qui concerne l'habitat, il est donc observé une utilisation des zones profondes et moins rapides par les 1+ ce qui relègue les 0+ aux zones moins profondes et plus rapides.

Ceci résulte encore de la compétition car ces dernières sont plus exigeantes d'un point de vue énergétique et on pourrait penser aussi que par rapport aux prédateurs, les zones proches de la surface offrent moins de facilité pour se camoufler. L'effet de la compétition est conforté par l'observation de l'utilisation d'un panel de profondeur plus étendu lorsque les 0+ sont maintenus seuls dans le milieu d'étude.

Il est à remarquer que l'habitat semble différemment utilisé par les saumons selon qu'ils sont observés en milieu naturel ou artificiel. En fait, on remarque qu'il manque différentes variables que sont par exemple la présence de truites sympatriques. En effet, il a été mis en évidence par Vassen (1998) qu'une compétition forte existait entre les deux espèces au désavantage des saumons. De plus, notre méthode d'échantillonnage des habitats en milieu naturel ne nous permet pas de connaître la position exacte du poisson lors de ses activités normales.

Quand on observe les poissons individuellement, on remarque que les 1+ dominants s'établissent dans les meilleurs postes alors que les 0+, même très actifs, sont relégués à des postes moins intéressants quant à la dépense en énergie qu'il faut fournir pour s'y maintenir. On observe même que lorsqu'il y a chevauchement des zones d'utilisation, il y a automatiquement affrontement.

Il est donc noté une compétition quant à l'utilisation de l'espace entre les différentes classes d'âge. On peut donc estimer, en prenant les réserves déjà énoncées, que les poissons plus vieux exercent une influence négative sur les populations de jeunes tacons et régulent donc probablement leur densité.

À l'avenir, il serait intéressant de tester d'autres expériences en rivière artificielle à des températures plus faibles et plus constantes ainsi qu'avec des proportions plus importantes des 0+ par rapport aux 1+ pour simuler les densités observées en milieu naturel.

De la même manière, une étude du poids et de la taille initial et final serait important pour estimer les bénéfices du point de vue énergétique des dominants sur les dominés.

On pourrait également travailler sur des stades plus jeunes afin de mettre en évidence les interactions entre classes d'âge différents au moment du repoissonnement. De plus on éviterait les modifications comportementales de la smoltification.

Comme dans le Samson différentes souches sont traitées, il serait intéressant de travailler avec les 0+ des différentes souches pour voir les différences de dominance. Il serait aussi intéressant de travailler avec les 0+ et 1+ de saumons, en cohabitation avec des truites pour étudier la manière avec laquelle les saumons sont relégués aux postes moins intéressants du point de vue énergétique.

5. Bibliographie

Aarestrup K., Koed A., "Survival of migrating trout (*Salmo trutta*) and Atlantic salmon (*Salmo salar*) smolts negotiating weirs in small Danish rivers". *Ecology of Freshwater Fish* 2003: **12**: 169- 176.

Ade R., "The trout and Salmon handbook". 1989. Ed.Christopher Helm, 122 p.

Arnold G. P., Webb P. W., Holford B. H., "The role of the pectoral fins in station- holding of Atlantic salmon parr (*Salmo salar* L.)". 1991. *J. Exp. Biol.* 156: 625- 629.

Baglinière J. L., "Les populations de saumon atlantique (*Salmo salar* L., 1766) en Bretagne-Basse Normandie". 1976. *Ann. Hydrobiol.* 7: 141- 158.

Baglinière J. L., Maisse G., Nihouarn A., "Migratory and reproductive behaviour of female adulte Atlantic salmo, *Salmo salar* L. in a spawning stream". 1990. *J. Fish Biol.* 36: 511- 520.

Baglinière J. L., Porcher J. P., "Caractéristiques des stocks de reproducteurs et comportement lors de la migration génésique". 1994. pp 101- 122. *In* J. C. Gueguen et P. Prouzet [eds.] *Le Saumon Atlantique. Biologie et Gestion de la Ressource*. Ed. De l'IFRIMER, Plouzané, 330 p

Baglinière J. L., Prouzet P., Porcher J. P., Nihouarn A., Maisse G., "Caractéristiques générales des populations de saumon atlantique (*Salmo salar* L.) des rivières du Massif armoricain". 1987. pp 23- 37. *In* M. Thibault et R. Billard. *Restauration des rivières à saumons*. INRA, Paris, 444 p.

Beall E., "Les phases de la reproduction". 1994. pp 123- 140. *In* J. C. Gueguen et P. Prouzet [eds.] *Le Saumon Atlantique. Biologie et Gestion de la Ressource*. Ed. De l'IFRIMER, Plouzané, 330 p.

Belding D. L., "The spawning habits of the Atlantic salmon". 1934. *Trans. Am. Fish. Soc.* 64: 211- 218.

Bielak A. T., Power G., "Utilisation des données historiques pour évaluer les stocks de saumon atlantique: exemples de quelques rivières du Canada". 1987. pp 103- 113. *In* M. Thibault et R. Billard. *Restauration des rivières à saumons*. INRA, Paris, 444 p.

Björnsson B. Th., Thorarensen H., Hirano T., Ogasanara T., "Photoperiod and temperature affect plasma growth hormone levels, growth, condition factor and hypoosmoregulatory ability of juvenile Atlantic salmon (*Salmo salar*) during parr- smolt transformation". *Aquaculture*, 1989, **82**, 77- 91.

Boeuf G., "La phase de préadaptation à la vie en mer: la smoltification". 1994. pp 47- 63. *In* J. C. Gueguen et P. Prouzet [eds.] *Le Saumon Atlantique. Biologie et Gestion de la Ressource*. Ed. De l'IFRIMER, Plouzané, 330 p.

Byrne C. J., Poole R., Rogan G., Dillane M., Whelan K. F., "Temporal and environmental influences on the variation in Atlantic salmon smolt migration in the Burrishoole system 1970- 2000". *Journal of Fish Biology* 2003: **63**, 1552- 1564.

Chaumont G. N., Legendre V., “La valorisation des rivières à saumons du Québec”. 1987. pp115- 123. *In* M. Thibault et R. Billard. Restauration des rivières à saumons. INRA, Paris, 444 p.

Chiasson A.C., Micha J.-C., “Intraspecific competition among three strains of juvenile Atlantic salmon (*S. salar* L.) in a stream tank environment”. January 2002. 19 p.

Davaine P., Prouzet P., “ La vie marine du saumon atlantique dans son aire géographique”. 1994. pp 64- 85. *In* J. C. Gueguen et P. Prouzet [eds.] Le Saumon Atlantique. Biologie et Gestion de la Ressource. Ed. De l'IFRIMER, Plouzané, 330 p.

Diamond J. M., “Niche shifts and the rediscovery of interspecific competition”. 1978. *Am. Sci.* 66: 322- 331.

Egglishaw H. J., Shackley P. E., “Survival and growth of salmon, *Salmo salar* (L.), planted in a Scottish stream”. 1980. *J. Fish Biol.* 16: 565- 584.

Elliott J. M., “Tolerance and resistance to thermal stress in juvenile Atlantic salmon, *Salmo salar*”. 1991. *Freshw. Biol.* 25: 61- 70.

Fleming I. A., Gross M. R., “Breeding competition in Pacific salmon (coho: *Oncorhynchus kisutch*): measures of natural and sexual selection”. 1994. *Evolution* 48: 637- 657.

Frenette M., “Importance de l'hydrologie dans la restauration et la gestion de rivières à saumons”. 1987. pp 195- 207. *In* M. Thibault et R. Billard. Restauration des rivières à saumons. INRA, Paris, 444 p.

Gibson R. J., Cunjaj R. A., “An investigation of competitive interactions between brown trout (*Salmo trutta* L.) and juvenile Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) in rivers of the Avalon Peninsula, Newfoundland”. 1986. *Can. Tech. Rep. Fish. Aquat. Sci.* 1472: V+ 82 p.

Gross M. R., “Disruptive selection for alternative life histories in salmon”. 1985. *Nature* **313**, 47- 48.

Gueguen J.C., Prouzet P., “ Le saumon atlantique: Biologie et gestion de la ressource”. 1994. Ed. De l'IFREMER, Plouzané, 330 p.

Hawkins A. D., Smith G. W., “Radiotracking observations on Atlantic salmon ascending the Aberdeenshire”. 1986. *Dee. Scott. Fish. Res. Rep.* 36: 24 p.

Heggenes J., Borgstrøm R., “Effect of habitat types on survival, spatial distribution and production of an allopatric cohort of Atlantic salmon, *Salmo salar* L., under conditions of low competition”. 1991. *J. Fish. Biol.* 38: 267- 280.

Heland M., “Aspects éco- éthologiques liés à l'implantation des juvéniles de Salmonidés d'élevage en milieu naturel”. 1987. pp 265- 272. *In* M. Thibault et R. Billard. Restauration des rivières à saumons. INRA, Paris, 444 p.

Heland M., Dumas J., “Écologie et comportement des juvéniles”. 1994. pp 29- 46.

In J. C. Gueguen et P. Prouzet [eds.] Le Saumon Atlantique. Biologie et Gestion de la Ressource. Ed. De l'IFRIMER, Plouzané, 330 p.

Hutchings J. A., Myers R. A., "The evolution of alternative mating strategies in variable environments". 1994. *Evol. Ecol.* 8: 256- 268.

Kalleberg H., "Observations in a stream tank of territoriality and competition in juvenile salmon and trout (*Salmo salar* L. and *Salmo trutta* L.)". 1958. *Rep. Inst. Freshw. Res. Drottningholm* 39: 55- 98.

Leblanc G., "La réintroduction du saumon atlantique dans le bassin de la Meuse". Projet "Meuse Saumon 2000". Ministère de la Région wallonne, 12 p.

Liane A., Jokivirta T., Katopodis C., "Atlantic salmon, *Salmo salar* L., and sea trout, *Salmo trutta* L., passage in a regulated northern river- fishway efficiency, fish entrance and environmental factors". *Fisheries Management and Ecology*, 2002, **9**, 65- 77.

MacCrimmon H. R., Gots B. L., "World distribution of Atlantic salmon, *Salmo salar*". 1979. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 36: 422-457.

Martin Ventura J. A., "Le saumon atlantique dans les rivières de la province des Asturies (Espagne) ". 1987. pp 139- 144. In M. Thibault et R. Billard. *Restauration des rivières à saumons*. INRA, Paris, 444 p.

Marty C., Beall E., "Rythmes journaliers et saisonniers de dévalaison d'alevins de saumon atlantique à l'émergence". 1987. pp 283- 290. In M. Thibault et R. Billard. *Restauration des rivières à saumons*. INRA, Paris, 444 p.

McCormick S. D., Saunders R. L., Henderson E. B., Harmon "Photoperiod control of parr-smolt transformation in Atlantic salmon (*Salmo salar*): Changes in salinity tolerance, gill Na⁺, K⁺- ATP ase activity, and plasma thyroid hormones". *Can. J. Aquat. Sci.* 1987, **44**: 1462-1468.

McDowall R. M., "Anadromy and homing: two life- history traits with adaptive synergies in salmonid fishes?". *Fish and Fisheries*, 2001, **2**, 78- 85.

Mills D., "Ecology and Management of Atlantic Salmon". 1989. Ed. Chapman and Hall, London, 351 p.

Morin P. P., Dodson J. J., Dore F. Y., "Olfaction, apprentissage d'une réponse cardiaque et restauration des rivières à saumons". 1987. pp 209- 216. In M. Thibault et R. Billard. *Restauration des rivières à saumons*. INRA, Paris, 444 p.

Nicieza A. G., Toledo M. M., Brana F., "Los procesos de desarrollo de los juveniles en el medio fluvial: Crecimiento, bimodalidad de tallas, maduración precoz y esguinado". 1995. pp 67- 86. In F. Brana [ed.] *Biología y Conservación del Salmón Atlántico (*Salmo salar*) en los Ríos de la Región Cantábrica*. ICONA, Madrid.

Nilsson, N. A., "Interactive segregation between fish species". 1967. pp 295- 313. *In* S. D. Gerking [ed.] The biological basis of freshwater fish production. John Wiley&Sons, New York.

Orpwood J. E., Griffiths S. W., Armstrong J. D., "Effects of body size on sympatric shelter use in over- wintering juvenile salmonids". *Journal of Fish Biology*, December 2003, **63**, Issue s1 Page 166.

Philippart J. C., "Reverrons- nous des saumons dans la Meuse?". 1985. *Cahiers Ethol. Appl.* 5: 189- 226.

Philippart J. C., "Histoire de l'extinction et problématique de la restauration des Salmonidés migrateurs dans la Meuse". 1987. pp 125- 137. *In* M. Thibault et R. Billard. Restauration des rivières à saumons. INRA, Paris, 444 p.

Reddin D. G., Shearer W. M., "Sea surface temperature and distribution of Atlantic salmon in the North- West Atlantic Ocean". 1987. *Am. Fish. Soc. Symp.* 1: 262- 275.

Riley W. D., Eagle M. O., Ives S. J., "The onset of downstream movement of juvenile Atlantic salmon, *Salmo salar* L., in a chalk stream". *Fisheries Management and Ecology*, 2002, **9**, 87- 94.

Saglio P., "Le retour jusqu'aux sites de frai ou 'homing': les mécanismes chimiosensoriels mis en jeu". 1994. pp 87- 100. *In* J. C. Gueguen et P. Prouzet [eds.] Le Saumon Atlantique. Biologie et Gestion de la Ressource. Ed. De l'IFRIMER, Plouzané, 330 p.

Shearer W. M., "The Atlantic Salmon: natural history, exploitation and future management". 1992. Ed. Fishing News Books, 244 p.

Solbakken A. V., Hansen T., Stefansson S. O., "Effects of photoperiod and temperature on growth and parr- smolt transformation in Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) and subsequent performance in seawater". *Aquaculture*, 1994, **121**, 13- 27.

Stradmeyer L., Thorpe J. E., "Feeding behaviour of wild Atlantic salmon, *Salmo salar* L. parr in mid- to late summer in a Scottish river". 1987. *Aquacult. Fish. Manage.* 18: 33- 49.

Thibault M., Billard R., "La restauration des rivières à saumons". 1987. Ed. INRA, Paris, 444 p.

Thorstad E. B., Økland F., Johnsen B. O., NÆsje T. F., "Return migration of adult Atlantic salmon, *Salmo salar*, in relation to water diverted through a power station". *Fisheries Management and Ecology*, 2003, **10**, 13- 22.

Vibert R., "Le Saumon Atlantique: origine et caractéristiques essentielles". 1994. pp 11- 24. *In* J. C. Gueguen et P. Prouzet [eds.] Le Saumon Atlantique. Biologie et Gestion de la Ressource. Ed. De l'IFRIMER, Plouzané, 330 p.

Vassen F., "Étude des préférences de microhabitat et estimation de la capacité d'accueil d'une rivière à truites (le Samson) pour les juvéniles du saumon atlantique (*Salmo salar* L.) ". 1988-1989. 61 p.

Vassen F., “Étude de la compétition interspécifique entre les juveniles de la truite commune (*Salmo trutta* L.) et du saumon atlantique (*S. salar* L.) en rivière”.1998. Presses Universitaires de Namur. 240 p